



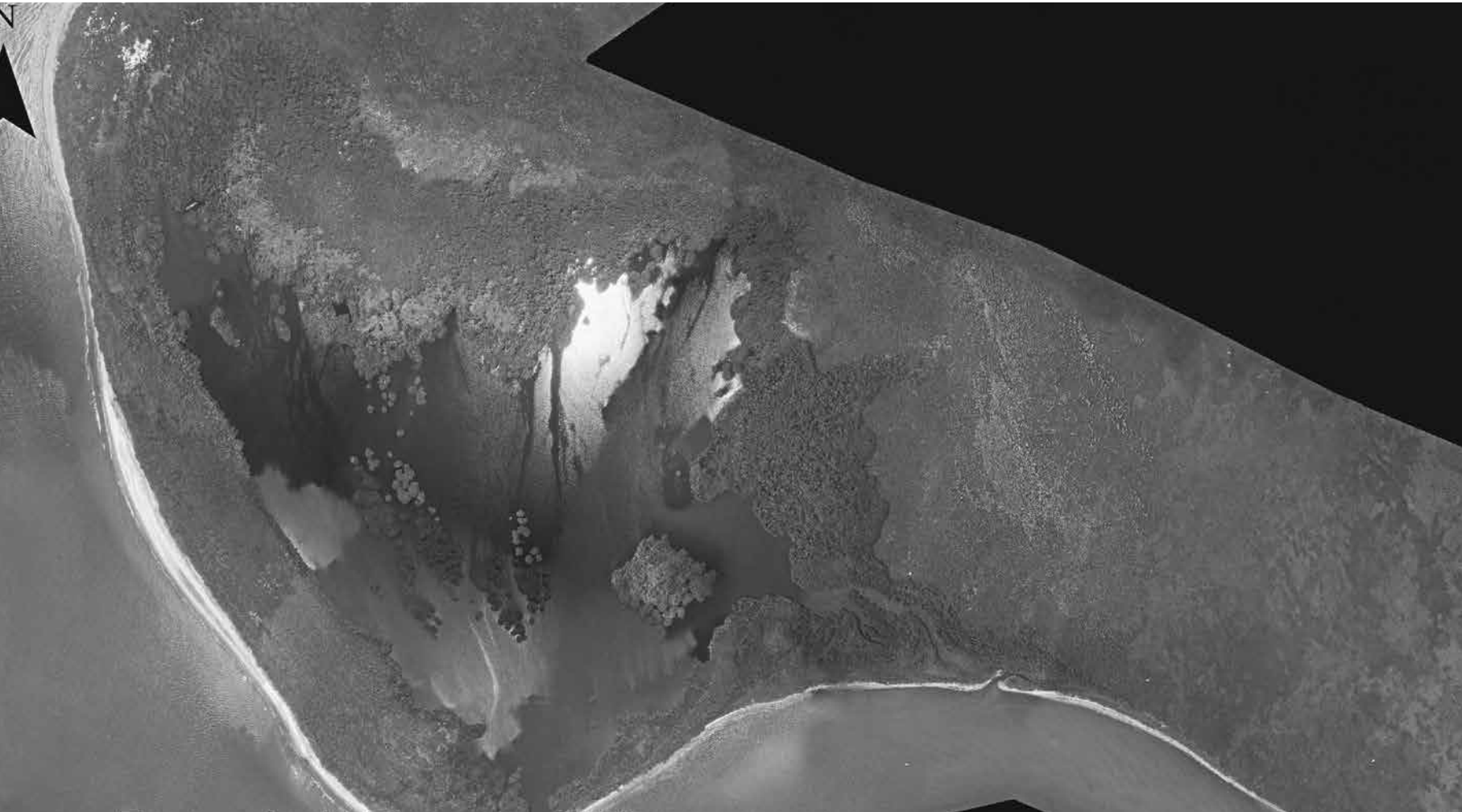
Expedición Caribe sur

Antioquia y Chocó costeros

Ensenada de Rionegro 1938



Ensenada de Rionegro 2009



Expedición Caribe sur

Antioquia y Chocó costeros



COMISIÓN COLOMBIANA DEL OCÉANO
Secretaría Ejecutiva Comisión Colombiana del Océano

PRESIDENTE DE LA COMISIÓN COLOMBIANA DEL OCÉANO
Germán Vargas Lleras

SECRETARIO EJECUTIVO DE LA COMISIÓN COLOMBIANA DEL OCÉANO
CALM Juan Manuel Soltau Ospina

INVESTIGADOR PRINCIPAL
Juan Felipe Blanco-Libreros

COINVESTIGADORES Y AUTORES PRINCIPALES DE LOS CAPÍTULOS
Mario Hernán Londoño Mesa, Iván Darío Correa Arango, Gladys Rocío Bernal Franco,
Andrés Fernando Osorio Arias, Jaime Hening Polanía Vorenberg, Ligia Estela Urrego
Giraldo, Lizette Irene Quan Young y Juan Felipe Blanco Libreros

EDITORES
Juan Felipe Blanco-Libreros y Mario Hernán Londoño-Mesa

APOYO EDITORIAL
Santiago Alejandro Hidalgo Reyes

CONCEPTO GRÁFICO, DISEÑO Y COMPOSICIÓN DIGITAL
Partner M&M Gráficos S.A.S.
Irma Acosta
Natalia Buitrago Nieto

CORRECCIÓN DE TEXTO:
Partner M&M Gráficos S.A.S.

CÍTESE COMO:
OBRA COMPLETA: Blanco-Libreros, J. F. & M. H. Londoño-Mesa (Eds.). (2016).
Expedición Caribe sur: Antioquia y Chocó costeros. Secretaría Ejecutiva de la Comisión
Colombiana del Océano. Bogotá 323 pp.

Citar capítulo de acuerdo con el siguiente esquema:
Apellido(s) e Iniciales del nombre(s) de los autores. (2016). Título del capítulo. Intervalo
de páginas. En: Blanco-Libreros, J. F. & M. H. Londoño-Mesa (Eds.). Expedición Caribe
sur: Antioquia y Chocó costeros. Secretaría Ejecutiva de la Comisión Colombiana del
Océano. Bogotá 323 pp.

ISBN e-book: 978-958-56086-2-7

© 2016 COMISIÓN COLOMBIANA DEL OCÉANO
www.cco.gov.co
Bogotá, D.C – Colombia 2016



TABLA DE CONTENIDO

8	AGRADECIMIENTOS Juan Felipe Blanco-Libreros, Ph.D.
12	RESUMEN EJECUTIVO
16	PREFACIO Alejandro Yáñez-Arancibia, Ph.D.
20	PRÓLOGO Ricardo Álvarez-León Dr.C. (cand.)
25	CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN Juan F. Blanco-Libreros
47	CAPÍTULO 2 GEOMORFOLOGÍA DEL CONTORNO LITORAL URABÁ-DARIÉN, DEPARTAMENTOS DE ANTIOQUIA Y CHOCÓ, CARIBE COLOMBIANO Iván Darío Correa Arango, Johanna Prüssmann Uribe y Astrid Eugenia Garrido Escobar
73	CAPÍTULO 3 CARACTERIZACIÓN HIDRODINÁMICA DEL OLEAJE LOCAL (SEA) Y DE FONDO (SWELL) EN EL GOLFO DE URABÁ Andrés F. Osorio, Luis G. Molina, y Juan D. Osorio
109	CAPÍTULO 4. DISTRIBUCIÓN, COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LOS MANGLARES DEL GOLFO DE URABÁ. Ligia E. Urrego, Eliana C. Molina, July A. Suárez, Hiara Y. Ruiz y Jaime Polanía
135	CAPÍTULO 5. FORAMINÍFEROS BENTÓNICOS EN LOS SEDIMENTOS DE LOS MANGLARES DEL GOLFO DE URABÁ. Gladys Bernal y Eliana Gómez
153	CAPÍTULO 6. MOLUSCOS (GASTERÓPODOS Y BIVALVOS) ASOCIADOS A LAS RAÍCES SUMERGIDAS EN LOS MANGLARES DEL GOLFO DE URABÁ. Juan F. Blanco L. y Luis Ferney Ortiz-Acevedo

CAPÍTULO 7.
GUSANOS MARINOS DE MANGLARES DEL GOLFO DE URABÁ.
Mario H. Londoño-Mesa y Catalina Arteaga-Flórez

177

CAPÍTULO 8.
ALGAS Y CIANOBACTERIAS ASOCIADAS A LAS RAÍCES DE Rhizophora mangle EN EL
GOLFO DE URABÁ.
Kathleen Hurtado-Santamaría y Lizette I. Quan-Young

219

CAPÍTULO 9.
COMPARACIÓN DE LA COMPOSICION Y DISTRIBUCIÓN DE MOLUSCOS Y GUSANOS
MARINOS EN OCHO ZONAS DEL CARIBE COLOMBIANO.
Juan F. Blanco, Verónica Meneses, David Mazo y Mario H. Londoño-Mesa

257

CAPÍTULO 10.
SÍNTESIS FINAL. SECTORIZACION PRELIMINAR DEL LITORAL DE LA UNIDAD AMBIENTAL
COSTERA (UAC) DARIÉN CHOCHOANO-GOLFO DE URABÁ-CARIBE ANTIOQUEÑO.
Juan F. Blanco, Iván Darío Correa-Arango, Andrés F. Osorio, Ligia E. Urrego, Jaime Polanía, Gladys
Bernal, Mario H. Londoño-Mesa, Lizette I. Quan-Young, Edgar Andrés Estrada, Johanna Prüssmann-
Uribe, Astrid Eugenia Garrido-Escobar, Luis G. Molina, Juan D. Osorio, Eliana C. Molina, July A.
Suárez, Hiara Y. Ruíz, Eliana Gómez, Luis Ferney Ortiz-Acevedo, Catalina Arteaga-Flórez, & Kathleen
Hurtado-Santamaría.

273

EPÍLOGO
Mario Hernán Londoño Mesa, Dr.C.

284

INSERTO FOTOGRÁFICO

288

ANEXOS CAPÍTULO 2

Plancha 1. Generalidades
Plancha 2A - Relieve Costero - Arboletes.
Plancha 2B Relieve Costero - Arboletes
Plancha 3A - Relieve Costero - Cabo Tiburón - Sapzurro
Plancha 3B - Relieve Costero - Cabo Tiburón - Sapzurro
Plancha 4A - Planicie Fluvio - Marina - Delta del Río Atrato
Plancha 4B - Planicie Fluvio - Marina - Delta del Río Atrato
Plancha 5A - Planicie Fluvio - Marina - Turbo
Plancha 5B - Planicie Fluvio - Marina - Turbo
Plancha 6A - Punta Caribaná - Ciénaga de Rionegro
Plancha 6B - Punta Caribaná - Ciénaga de Rionegro

ANEXOS CAPÍTULO 9

- Figura 9.2 Comparación de la similitud de bivalvos entre siete zonas del Caribe colombiano
Figura 9.3 Comparación de la similitud de gasterópodos entre siete zonas del Caribe colombiano.
Figura 9.4 Comparación de la similitud de poliquetos entre seis zonas del Caribe colombiano.
Figura 9.5 Distribución de los seis géneros de moluscos más reportados para el Caribe colombiano, en las bahías Marirrí, El Uno y Turbo, del golfo de Urabá.
Figura 9.6 Distribución de los seis géneros de moluscos más reportados para el Caribe colombiano, en la ciénaga de La Boquilla, en el golfo de Morrosquillo.
Figura 9.7 Distribución de los seis géneros de moluscos más reportados para el Caribe colombiano, en un punto central de la bahía de Cartagena.
Figura 9.8 Distribución de los seis géneros de moluscos más reportados para el Caribe colombiano, en la Ciénaga Grande de Santa Marta.
Figura 9.9 Distribución de los seis géneros de moluscos más reportados para el Caribe colombiano, en un punto central de la costa de Santa Marta.
Figura 9.10 Distribución de los seis géneros de moluscos más reportados para el Caribe colombiano, en las bahías Chengue y Neguanje, Parque Nacional Natural Tayrona
Figura 9.11 Distribución de los seis géneros de moluscos más reportados para el Caribe colombiano, en las islas San Andrés y Providencia.
Figura 9.12 Distribución de las cinco familias de poliquetos más reportadas para el Caribe colombiano, en las bahía El Uno y Turbo, del golfo de Urabá.
Figura 9.13 Distribución de las cinco familias de poliquetos más reportadas para el Caribe colombiano, en la ciénaga de La Boquilla y el suroccidente del golfo de Morrosquillo.
Figura 9.14 Distribución de las cinco familias de poliquetos más reportadas para el Caribe colombiano, en la bahía Gaira, Santa Marta.
Figura 9.15 Distribución de las cinco familias de poliquetos más reportadas para el Caribe colombiano, en bahía Chengue, Parque Nacional Natural Tayrona.
Figura 9.16 Distribución de las cinco familias de poliquetos más reportadas para el Caribe colombiano, en bahía Portete, Guajira.
Figura 9.17 Distribución de las cinco familias de poliquetos más reportadas para el Caribe colombiano, en islas San Andrés y Providencia.

ANEXOS CAPÍTULO 10

Expedición Estuarina, Golfo de Urabá Fase I

- Tema: Geomorfología Darién Chocoano Mapa EA2010002094
Tema: Geomorfología Delta del Río Atrato Mapa EA2010002095
Tema: Geomorfología Planicie Aluvial Río León - Punta Caribaná Mapa EA2010002096
Tema: Geomorfología Punta Caribaná - Punta Gigantón Mapa EA2010002097
Tema: Geomorfología Punta Caribaná - Arboletes Mapa EA2010002098
Tema: Biológico Darién chocoano Mapa EA2010002099
Tema: Biológico Delta del Río Atrato EA2010002100
Tema: Biológico Planicie aluvial Río León - Punta Caribaná Mapa EA2010002101
Tema: Biológico Punta Caribaná - Punta Gigantón Mapa EA2010002102
Tema: Biológico Punta Caribaná - Arboletes Mapa EA2010002103
Tema: Hidrografía Darién chocoano Mapa EA2010002104
Tema: Hidrografía Delta del Río Atrato Mapa EA2010002105
Tema: Hidrografía Planicie aluvial Río León - Punta Caribaná Mapa EA2010002106
Tema: Hidrografía Punta Caribaná - Punta Gigantón Mapa EA2010002107
Tema: Hidrografía Punta Caribaná - Arboletes Mapa EA2010002108

RECORRIDO VIRTUAL

Expedición Estuarina, Golfo de Urabá Fase I

- Tema: Geomorfología Darién Chocoano EA2010 002 001
Tema: Geomorfología Darién Chocoano EA2010 002 002
Tema: Geomorfología Darién Chocoano EA2010 002 003
Tema: Geomorfología Darién Chocoano EA2010 002 004
Tema: Geomorfología Darién Chocoano EA2010 002 005
Tema: Geomorfología Darién Chocoano EA2010 002 006
Tema: Geomorfología Darién Chocoano EA2010 002 007
Tema: Geomorfología Darién Chocoano EA2010 002 008
Tema: Geomorfología Darién Chocoano Delta del Río Atrato EA2010 002 009
Tema: Geomorfología Delta del Río Atrato EA2010 002 010
Tema: Geomorfología Delta del Río Atrato EA2010 002 011
Tema: Geomorfología Delta del Río Atrato EA2010 002 012
Tema: Geomorfología Delta del Río Atrato EA2010 002 013
Tema: Geomorfología Delta del Río Atrato EA2010 002 014
Tema: Geomorfología Delta del Río Atrato EA2010 002 015
Tema: Geomorfología Planicie Aluvial Río León - Punta Caribaná EA2010 002 016
Tema: Geomorfología Planicie Aluvial Río León - Punta Caribaná EA2010 002 017
Tema: Geomorfología Planicie Aluvial Río León - Punta Caribaná EA2010 002 018
Tema: Geomorfología Planicie Aluvial Río León - Punta Caribaná EA2010 002 019
Tema: Geomorfología Planicie Aluvial Río León - Punta Caribaná EA2010 002 020
Tema: Geomorfología Planicie Aluvial Río León - Punta Caribaná EA2010 002 021
Tema: Geomorfología Planicie Aluvial Río León - Punta Caribaná EA2010 002 022
Tema: Geomorfología Planicie Aluvial Río León - Punta Caribaná EA2010 002 023
Tema: Geomorfología Planicie Aluvial Río León - Punta Caribaná EA2010 002 024
Tema: Geomorfología Planicie Aluvial Río León - Punta Caribaná EA2010 002 025

Agradecimientos

Un proyecto de esta envergadura, por su cobertura espacial, complejidad temática y logística, el personal participante y el presupuesto, no se había desarrollado hasta 2009 en el tema de las ciencias del mar en el Departamento de Antioquia. Por tanto, su ejecución no hubiera sido exitosa sin los aportes de muchas personas e instituciones.

El proyecto "*Expedición Estuarina - golfo de Urabá. Fase 1*", que dio pie a la presente publicación, se desarrolló gracias a la financiación generosa de la Gobernación de Antioquia, a través del convenio 2008-SS-120132, suscrito con la Universidad de Antioquia dentro del convenio marco "*Programa Expedición Antioquia 2013*". En este proyecto fueron socios fundamentales la Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín y la Universidad EAFIT. Los investigadores agradecen a sus Rectores y Vicerrectores y Directores de Investigación, por

haber brindado el respaldo institucional para desarrollar esta iniciativa.

Como investigador principal del proyecto agradezco al personal directivo y administrativo de los centros de investigación (Vicerrectoría de Investigación y Centro de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales) de la Universidad de Antioquia que administraron los recursos, y al personal de los departamentos de jurídica, de presupuesto y de compras, por ayudar a agilizar los trámites y resolver los problemas que se suscitaron debido a la envergadura que constituyó este proyecto y el corto tiempo para su ejecución.

Asimismo, agradezco especialmente al Dr. Nicolás Jaramillo, director del *Instituto de Biología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales* de la

Juan Felipe Blanco-Libreros, Ph.D.

Investigador Principal, Expedición Estuarina-golfo de Urabá
Profesor Titular, Instituto de Biología, Universidad de Antioquia

Medellín, 27 de julio de 2016

Universidad de Antioquia en el periodo 2009-2010, por gestionar espacios de laboratorio y de oficina adecuados para desarrollar este proyecto. También agradecimientos a instituciones y personas adicionales que colaboraron con cada subproyecto, se encuentran dentro de cada capítulo.

Desde luego que se agradece a los profesores Víctor Álvarez, director académico del *Programa Expedición Antioquia 2013*, y a Ricardo Callejas, coordinador del *Eje de Biodiversidad y Recursos Naturales*, por haber respaldado desde el principio este proyecto y por considerarlo de prioritaria ejecución. Su apoyo y buena voluntad para ayudar a resolver los problemas que se presentaron en la ejecución del proyecto son valorados enormemente.

La *Corporación para el Desarrollo Sostenible de Urabá* (CORPOURABA) en cabeza de su director,

Gabriel Ceballos, se adhirió a finales de 2009 al convenio marco de asociación con el *Programa Expedición Antioquia 2013*. La colaboración con la *Expedición Estuarina* fue irrestricta a través del biólogo Jairo Guillermo Vásquez de la *Subdirección de Gestión y Administración Ambiental*.

El apoyo y la confianza de las comunidades negras de la región fue fundamental. Agradecemos que nos hayan permitido ingresar a sus territorios colectivos, y que nos hayan compartido sus planes de *etnodesarrollo* para comprender mejor sus saberes y necesidades al contextualizar nuestra labor. Nuestra expresa gratitud a Decio Mosquera, representante legal, en su momento, del *Consejo Comunitario Negro de Bocas del Atrato y Leoncito*, y a Emigdio Pertuz, representante legal del *Consejo Comunitario Negro de la cuenca del río Acaandí y la zona costera norte del Chocó*; al igual que

para los miembros de dichos concejos que nos acompañaron. También apreciamos el apoyo de los diferentes habitantes de dichas comunidades, que participaron como asistentes de campo, y que asistieron a los talleres de socialización del proyecto y de construcción de la cartografía.

En una obra de carácter científico como ésta, debo hacer reconocimiento especial a los investigadores-autores y a los evaluadores. Mis más sinceros agradecimientos a los coinvestigadores del proyecto y autores principales de los capítulos: Mario Hernán Londoño (Universidad de Antioquia), Iván Darío Correa (Universidad EAFIT), Gladys Rocio Bernal, Andrés Fernando Osorio, Jaime H. Polanía y Ligia Estela Urrego (todos de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín). Juntos y mediante el diálogo académico pudimos superar las frustraciones y conflictos generados por la burocracia y la logística de la ejecución de un proyecto de esta magnitud en un poco más de un año. También les agradezco que se hayan

mantenido firmes en el propósito de publicar sus capítulos a pesar del paso de los años y las promesas de financiación del libro incumplidas por varias fuentes. También agradezco a Lizette I. Quan-Young (Universidad de Antioquia), quien se vinculó en la fase de análisis de muestras y contribuyó con la dirección del trabajo de grado que se convirtió en el capítulo 8 (algas y cianobacterias). Este equipo de investigadores estuvo acompañado de más de una veintena de estudiantes de pregrado y posgrado, y de profesionales que apoyaron el trabajo administrativo y científico de campo y laboratorio; a todos gracias. Este trabajo no tuviese el rigor científico si no hubiese sido sometido al escrutinio riguroso por parte de pares académicos voluntarios, todos ellos reconocidos investigadores en sus campos de investigación; gracias por su enorme apoyo y comentarios, lo cual ayudó a que cada uno de los capítulos mejorara significativamente: Cristian Tovilla, Laura Carrillo y Sergio I. Salazar Vallejo (Ecosur, México), Jorge López-Portillo (Inecol, México), Vivianne

Solis-Weiss (UNAM, México), Óscar Díaz Díaz (Universidad de Oriente, Venezuela), María Isabel Vélez (Universidad de Regina, Canadá), Brigitte Gavio y Juan Manuel Moreno Murillo (Universidad Nacional de Colombia), Blanca Oliva Posada (Invemar, Colombia), Edgardo Londoño Cruz y Jaime Ricardo Cantera Kintz (Universidad del Valle, Colombia) y Ricardo Callejas (Universidad de Antioquia, Colombia).

Dado que la presente publicación buscó incansablemente durante cinco años la financiación para su edición, quiero agradecer inmensamente a quienes hicieron posible que hoy una amplia audiencia pueda acceder a los resultados del proyecto. Al profesor Mario Hernán Londoño, colega del Instituto de Biología, compañero de expedición y coeditor del libro, por su dedicación al trabajo editorial y por su apoyo en la búsqueda de la financiación. Al profesor Jairo León Zapata, Director de la Corporación Académica Ambiental de la Universidad de Antioquia por propiciar en

2015 el acercamiento con la Comisión Colombiana del Océano. Gracias Contralmirante Juan Manuel Soltau, Secretario de la Comisión por avalar la financiación de la obra, creyendo en ella desde el mismo momento en que se le presentaron los productos científicos y la cartografía. Junto a las expediciones "Seaflower" y "Antártida", esta "expedición virtual" al Caribe sur enriquecerá al país en la construcción del reconocimiento y del conocimiento de los territorios marino-costeros apartados y olvidados hasta ahora. Finalmente, muchas gracias al comité editorial conformado por la Comisión y coordinado por Santiago Hidalgo por su acompañamiento en el proceso de edición final y diagramación.

Que sea ahora el buen viento el que acompañe a este libro en su trasegar por el buen e infinito mar del conocimiento y del tiempo.

Resumen Ejecutivo

Hasta el momento el conocimiento que se tenía de la región Darién-Urabá-Caribe antioqueño era fragmentario: los estudios no se habían realizado de manera simultánea a lo largo del litoral, y así había poca interacción entre las disciplinas de las ciencias del mar. El objetivo de este estudio fue construir una base de datos sobre las características geomorfológicas, oceanográficas, forestales y faunísticas de los manglares, a lo largo del litoral comprendido entre cabo Tiburón (Acandí-Chocó) y quebrada Peñoncito (Arboletes, Antioquia). Se realizó una expedición en la que participaron científicos de diferentes ciencias del mar, para recolectar información de campo sobre diferentes componentes temáticos, a lo largo de los 609 km del contorno costero. Esta información se proyectó sobre un mosaico aerofotográfico a color, y a escala 1:10.000, tomado en junio de 2009. Dicho mosaico fue utilizado para delimitar la costa (a una escala de captura de 1:500), las geoformas, las áreas de manglar y otras coberturas vegetales, y la hidrografía. Por otra parte, se instalaron instrumentos oceanográficos y se obtuvo información de estaciones meteorológicas para describir el régimen de oleaje en verano e invierno. Se colectaron muestras de sedimentos y de raíces

de los manglares para extraer foraminíferos, moluscos y poliquetos, estableciendo así los indicadores biológicos de las variables ambientales medidas, y logrando de esta manera una sectorización biogeográfica del litoral. La geomorfología del área cartografiada es extremadamente variada, y refleja tanto los contrastes geológicos y fisiográficos entre el Darién, el golfo de Urabá y la llanura costera Caribe nororiental, así como los procesos naturales (y antrópicos históricos) que han controlado su evolución durante los últimos 5.000-6.000 años. Con base en los atributos físicos de las geoformas identificadas (topografía/relieve, extensión, materiales, ubicación con respecto al nivel del mar actual), se definen dos tipos básicos de contorno costero: a) Relieve costero y b) Planicies fluvio-marinas. Además existe un dominio transicional entre este contorno costero y la plataforma marina, denominado *Zona Intermareal*. Los relieves costeros están conformados por colinas, valles aluviales, terrazas marinas (emergidas y sumergidas), islotes, peñascos rocosos, escarpes y canales submarinos; existen, además, domos diapíricos y volcanes de lodo. Las planicies fluvio-marinas del Urabá-Darién reflejan en el mediano plazo (miles de años) el relleno de depresiones

con materiales provenientes de la erosión de los relieves del Darién, así como de la llanura costera Caribe. Están conformadas (en dirección tierra-mar) por planicies aluviales extensas, interrumpidas por canales fluviales (activos e inactivos), diques naturales y pantanos de agua dulce; cerca al mar, las geoformas fluviales coexisten con geoformas de origen mixto, principalmente conjuntos de cordones de playa formados durante los últimos cientos de años.

Las geoformas típicas de la *Zona Intermareal* son las playas actuales (constituidas por arenas y/o gravas), los planos intermareales no vegetados y vegetados. Estos últimos constituyen el substrato de los manglares y son típicos de los ambientes protegidos y/o con aportes altos de lodos, ubicados al interior del Golfo (e.g. ensenada de Rionegro y deltas de los ríos Atrato, Caimán Viejo, Caimán Nuevo, Turbo y Currulao). A lo largo del litoral punta Caribaná-Arboletes la erosión marina ha destruido las áreas mayores de manglares; y hoy sólo se preservan ocurrencias menores en las desembocaduras de los ríos Mulatos, Zapata, Damaquiel, San Juan, Hobo y Arboletes. La acción del viento es un condicionante importante del

oleaje del Golfo, y varía en magnitud y dirección entre la época lluviosa y la época seca; pero también cambia entre la parte ubicada al norte del delta del río Atrato y la más al sur, hasta bahía Colombia. La primera zona es dominada fuertemente por oleaje de fondo o *Swell* proveniente del mar Caribe, y la segunda zona es dominada fuertemente por oleaje local o *Sea* generado por el efecto del viento local.

Durante la época húmeda el viento en la zona norte, medido en estaciones en Capurganá y Necoclí, sopla desde el oeste-suroeste, mientras que en bahía Colombia (medido en el río León) sopla predominantemente desde el sur-suroeste. Durante la época seca, la dirección cambia pero además oscila a lo largo del día entre las direcciones noreste y suroeste, en la zona norte; mientras que en bahía Colombia el viento oscila entre las direcciones norte y sur. La parte norte puede ser impactada por *oleaje extremal* con alturas mayores que 3 m, y con periodos de recurrencia de más de 10 años. En esta parte también se generan oleajes de altura media de 1,7 m con periodo de 10 s y dirección norte, el 50% del tiempo de la época seca. Este oleaje llega disipado a bahía Colombia, alcanzando alturas de 0,6 m.

Se identificaron la estructura, la composición florística y el estado de conservación de los manglares del golfo de Urabá. Debido a que no se tuvo el tiempo suficiente para obtener permiso, por parte de las comunidades negras e indígenas, no se realizaron estudios forestales en el Chocó (aunque se identificó que hay dos pequeños manglares en playa Soledad-bahía de Pinorroa, y bahía de Titumate) ni en el Resguardo indígena de Caimán Nuevo. Se estimó que la extensión del manglar en el departamento de Antioquia es de 4908,5 ha, 78,3% de la cual se encuentra en el delta del río Atrato, 7,2% en la ensenada de Rionegro, y 11,1% se encuentra en pequeños fragmentos en la costa oriental, entre el río Turbo y el río León. Los mayores relictos de manglar en el Caribe antioqueño se encontraron en los ríos Damaquiel y Hobo. Los manglares de borde están dominados por *Rhizophora mangle* (mangle rojo o colorado) y *Laguncularia racemosa* (mangle blanco o bobo), los de cuenca por *R. mangle*, pero con una abundancia significativa de *L. racemosa* y *Avicennia germinans* (mangle negro o de humo). Otros pequeños fragmentos de manglar en estado sucesional temprano están dominados completamente por *R. mangle*.

En general, las distribuciones de diámetros y de alturas, en los manglares, sugieren una buena capacidad de regeneración y sobrevivencia de los individuos. Por el contrario, los manglares de punta Yarumal y punta Las Vacas presentan distribución diamétrica en forma de campana (pocos árboles jóvenes y adultos), lo cual indica un bajo estado de conservación, y ello va asociado a la sobreexplotación

de los recursos maderables. Los demás sitios estudiados muestran buen estado estructural, pero pobre de conservación, especialmente en Bocas del Atrato. Tal estado se asocia con estados fitosanitarios deficientes, relacionados con el ataque del molusco bivalvo barrenador *Neoteredo reynei*, e infección masiva de agallas en los árboles de *R. mangle*.

El esfuerzo de muestreo para la biota del manglar es el de mayor cobertura realizado hasta el momento (86 estaciones a lo largo de 609 km). En el Chocó se realizaron observaciones cualitativas, pero no se obtuvieron datos del Resguardo indígena de Caimán Nuevo. Las especies de foraminíferos de los sedimentos, y de moluscos, poliquetos y algas asociadas a las raíces de los mangles, son indicadoras de condiciones de baja salinidad pero con una alta variabilidad temporal. Los foraminíferos dominantes fueron cuatro especies aglutinadas, y una calcárea, determinantes en estos manglares, a saber: *Milliammina fusca*, *Haplophragmoides canariensis*, *Trochammina squamata*, *Arenoparrella mexicana* y *Eponides bradyi*; siendo las aglutinadas las que dominan en el área. La comunidad de moluscos fue extremadamente pobre (8 especies), siendo los bivalvos *Mytilopsis* sp. y *Brachidontes* sp. dominantes, representando así el 94% de la abundancia total. La abundancia de *Mytilopsis* sp., de *Brachidontes* sp., y del gasterópodo *Potamopyrgus* sp., no se correlacionó con la salinidad; mientras que el gasterópodo *Neritina virginea* y la ostra del manglar *Crassostrea rhizophorae*, se correlacionaron positivamente con la salinidad.

La riqueza de poliquetos también fue baja (12 especies), de las cuales, las más comunes pertenecen a gusanos nereididos (*Leptonereis*, *Namanereis*, *Neanthes*): un grupo comúnmente usado en estudios de calidad del agua. Se identificaron 19 especies de macroalgas y microalgas, agrupadas en el complejo *Bostrychietum*, el cual es típico de los estuarios. Al comparar los listados de especies de moluscos y poliquetos de los manglares del golfo de Urabá, con el resto del Caribe colombiano, desde el golfo de Morrosquillo hasta la bahía Portete, e incluyendo el archipiélago de San Andrés y Providencia, se encontró una gran similitud con la ciénaga grande de Santa Marta: posiblemente a causa de la presencia de especies tolerantes a amplias variaciones espacio-temporales de salinidad. Menores similitudes fueron encontradas con respecto a las zonas con predominio marino. En segundo lugar, se observaron similitudes entre zonas contiguas en los poliquetos.

Se concluyó que la región del Darién-Urabá-Caribe antioqueño es un mosaico geomorfológico, compuesto por cinco sectores: 1) Darién chocono, 2) Delta del río Atrato-planicie aluvial del río Suriquí, 3) Planicies aluviales entre el río León y punta Caribaná, 4) Planicie fluvio-marina entre punta Caribaná y punta Gigantón, y 5) Plataforma sedimentaria terciaria entre punta Gigantón y punta Rey. Con respecto a la dinámica del oleaje se presentan solamente dos zonas: 1) ubicada al norte de los deltas de los ríos Atrato y Turbo, dominada por oleaje de fondo que se origina en el mar Caribe, y que puede estar afectada por huracanes y tormentas tropicales, y 2) ubicada al sur de dichos

deltas, dominada por oleaje local formado por el viento, y que es responsable de las maretas y mares de leva. La extensión y estructura de los manglares está moldeada por la geomorfología y la dinámica del oleaje, siendo menos extensos y desarrollados en el Darién y en el Caribe antioqueño, y más extensos, desarrollados y dominados por *Rhizophora mangle*, en el delta del río Atrato.

Los manglares del litoral oriental del Golfo son de extensiones variables, por una combinación de factores naturales y antropogénicos, y en algunos casos están dominados por *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*. La fauna y la flora asociadas a las raíces de los mangles también parecen estar influenciadas por una combinación de factores, pero es evidente que la naturaleza estuarina del Golfo ha conducido a una baja riqueza en los moluscos (8), gusanos poliquetos (12), micro y macroalgas (19) y foraminíferos de los sedimentos (30). En términos de composición de especies el delta del río Atrato y la ensenada de Rionegro representan las áreas más conspicuas, y, al mismo tiempo, menos afectadas por las actividades humanas. Las anteriores características hacen del golfo de Urabá, una eco-región única dentro del ámbito del Caribe colombiano y, por tanto, es necesario aunar esfuerzos para contribuir a aumentar el conocimiento científico sobre ella, y diseñar medidas de manejo y conservación apropiadas.

Prefacio

Los colegas editores del libro "Expedición Caribe Sur: Antioquia y Chocó costeros", me invitaron para escribir algunas palabras de Prólogo. Es una distinción inmerecida que acepto con mucho gusto, porque los buenos recuerdos persisten en mi memoria disfrutando el afecto de colegas y amigos de la Universidad de Antioquia. Sin embargo, por el título de este libro, prefiero escribir algo como Prefacio en lugar de Prólogo. Esto, porque el primero es más abierto en lo cultural, y el segundo es más estricto en relación al origen del libro; y esto último está claramente explicado en el Resumen Ejecutivo con el cual inicia el libro. Prefacio y Prólogo se amalgaman, razón por lo que confío en que los editores del libro no me descarten, por salirme de los "márgenes restrictivos" del tema.

América tropical y el Caribe conforman una de las regiones más espectaculares de la zona costero-marina del planeta. Y ésta aseveración nos invita a explorar diferentes umbrales, horizontes, y perspectivas, para visualizar la complejidad de los desafíos de la región Caribe de Colombia en el umbral del siglo XXI, cuya zona costera se sitúa exactamente enfrente al Gran Ecosistema Marino

No. 12 (LME= *Large Marine Ecosystem*; www.edc.uri.edu/lme). Normalmente la característica diagnóstica que prevalece en este complejo costero asociado a los Grandes Ecosistemas Marinos, es el tipo de vegetación primaria dominante, la cual ejerce control sobre otra vegetación y la fauna asociada; en consecuencia, vegetación, clima, geomorfología, procesos costeros y suelo tipifican el universo de este Libro a escala macro regional. Juan Felipe Blanco-Libreros y colaboradores (2013) colocaron la semilla de este libro puntualizando que el golfo de Urabá es la configuración geomorfológica, hidrodinámica y de biodiversidad que, en su conjunto, tiene características únicas en el Caribe colombiano, considerándolo el sistema estuarino más grande y complejo de la región. En ese contexto, y desde mi perspectiva, el "territorio costero" del Caribe colombiano, por su extensión acuático-geográfica latitudinal, se extiende por varios climas subregionales, incorpora diferentes patrones de vegetación, presenta geomorfología y suelos diferenciados, y todo en la frontera continente-océano. Y esta aproximación está claramente descrita a través de la secuencia de los distintos capítulos del Libro.

Alejandro Yáñez-Arancibia, Ph.D.
Miembro de la Academia Mexicana de Ciencias
Instituto de Ecología A. C., INECOL (CONACYT) México.

alejandro.yanez@inecol.mx

Observando los litorales continentales del Caribe se vislumbran regiones de gran *unicidad* como son los mega-deltas, y Colombia es representativo de ello (Yáñez-Arancibia y Day, 2016). Presentan perspectivas globales para el manejo integrado de la zona costera; sobre todo por su analogía ecosistémica. Se conoce que el océano costero es usuario adicional de agua dulce, necesario para condicionar la fertilidad acuática hacia una plataforma continental productiva con insumos de: agua dulce, sedimentos, hidrología costera y fisiografía, que condicionan el establecimiento de manglares los cuales representan el “emblema” de la costa Caribe colombiana. Y es aquí donde el complejo del golfo de Urabá, por su estructura y funcionamiento ecosistémico, interactúa ecológicamente con el océano adyacente modulado por el sistema deltaico de los ríos Atrato y Turbo, para conformar un “ecosistema biocomplejo-costero-marino” representativo y análogo con grandes regiones ambientales de América tropical y subtropical (Day y Yáñez-Arancibia, 2013). Los resultados que muestra este libro en la secuencia de sus capítulos, caracterizan al golfo de Urabá y su área vecina, denominada por los autores como Caribe Sur, como uno de esos “ecosistemas biocomplejos

costero-marinos” críticos de la costa tropical del Atlántico centro-occidental.

Después de las publicaciones científicas que buscaron divulgar los resultados desde que culminó la Expedición (e.g. Blanco-Libreros et al. 2011 en el boletín electrónico de la *International Society of Mangrove Ecosystems*, ISME) y de las “crónicas de la expedición” (2013), cuyo objetivo fue de divulgación científica de alto nivel, este libro representa un avance significativo en el conocimiento integrado de esta región, y se constituye en el referente para los pasos siguientes que se vislumbran. Para estos sistemas costero-marinos como el golfo de Urabá y el Caribe Sur, el desafío de Colombia es resolver cuestionamientos ecológicos del futuro. Por ejemplo: 1) Mecanismos que condicionan la producción primaria acuática, 2) Vulnerabilidad costera por el cambio climático global, 3) Interrelación de los pulsos físico/ambientales para comprender el funcionamiento e internalizarlo en el manejo-ecosistémico, 4) Variabilidad de los recursos pesqueros, 5) Soluciones eco-tecnológicas para restaurar humedales costeros, 6) Los límites del desarrollo económico sin comprometer la

integridad ecológica y los servicios ambientales de la zona costera, 7) Internalizar la crisis energética hacia el futuro del desarrollo, 8) Acoplar el MIZC= Manejo Costero Integrado de Zona Costera con el manejo del Gran Ecosistema Marino, y 9) Formación de recursos humanos con enfoque ecosistémico. Parece evidente, como conclusión de esta perspectiva, que el Sistema Biocomplejo Costero Marino Golfo de Urabá y su zona adyacente (Caribe Sur), es el mejor ejemplo para la aproximación de escala de *manejo-regional* en un escenario integrado del paisaje de las tierras bajas: "llanura costera /cuenca hidrográfica /delta /lagunas /estuario /mar". Con lo cual se predispone el desafío para la Agenda de Segunda Generación en el umbral del siglo XXI hacia implementar el enfoque-ecosistémico como "la marca de la casa": Por ejemplo, 1) Cuantificar espacialmente los hábitats costero-marinos definiendo interrelaciones ecológicas desde la llanura costera hasta el océano, 2) Cuantificar la estacionalidad funcional de esos hábitats, 3) Internalizar los efectos del cambio climático, 4) Optimizar la "crisis energética" internalizándola con las eco-tecnologías de restauración, 5) Establecer que el futuro de las ciencias costeras hacia el manejo de recursos es "ecosistémico",

precisando que el desarrollo socioeconómico debe asegurar la integridad ecológica de los ecosistemas y la capacidad de resiliencia de los servicios ambientales.

Con el equipo de autores de cada uno de los capítulos del Libro, el Caribe Sur se encuentra bien amparado para iniciar el desafío de las agendas por venir. El desarrollo equilibrado de la zona costero-marina depende de la sustentabilidad de los servicios ambientales que sostienen a las actividades productivas. Desarrollo, este, que depende de ofrecer comida, cultura, trabajo, seguridad, hospedaje, comunicaciones, infraestructura, clima, paisaje y ambiente sano. Todo de alta calidad y en equilibrio. Pero, el impacto antropogénico sobre los ecosistemas y sus recursos explotables, por una parte, y el cambio climático, por otra, tienen su propia agenda y amenazan severamente descomponer las piezas de esta ecuación desintegrando cualquier ecosistema. ¿Cómo enfrentar y avanzar frente a esta situación, buscando certificar la sustentabilidad ambiental del desarrollo social y económico en el litoral de Antioquia y Chocó, los departamentos más sureños y por ende más aislados del Caribe colombiano, que ahora empieza a ser objeto de las miradas

de desarrolladores portuarios? La respuesta es compleja pero, evidentemente, debe comenzar por integrar los intereses en conflicto de los sectores social, económico, ambiental y jurídico-normativo.

Desde la perspectiva del manejo-basado-en-el-ecosistema (*ecosystem-based-management* EBM, *US Commission on Ocean Policy*), en Hershman y Hansen (2006), Fanning et al. (2011) y Yáñez-Arancibia et al. (2011), la respuesta del ambiente y de los hábitats bajo variabilidad extrema está modulada por la configuración geomorfológica, la dinámica hidrológica, y la influencia del clima que afecta los componentes biofísicos del ecosistema. En ese contexto, el golfo de Urabá con este libro tiene dispuestas las primeras piezas del 'puzzle'. EBM ha emergido como un principio que guía las nuevas políticas de gestión y manejo de ecosistemas y sus recursos explotables. Debido a que EBM es una herramienta de respaldo al desarrollo socioeconómico, integrando la ecología con las dimensiones sociales y económicas, permite:

- a) Reducir las distorsiones socio-económicas que afectan la biodiversidad,
- b) Sugerir incentivos para promover la conservación de la biodiversidad y su utilización sustentable,
- c) Internalizar costos y beneficios revalorando los servicios que

desempeña el ecosistema, d) Comprender el concepto de gradiente-de-hábitats en la zona costera y cómo aplica en el enfoque del manejo de recursos naturales y, e) Mantener en mente que -en cualquier latitud del Caribe colombiano- sólo es sustentable el manejo basado en la integridad ecológica del ecosistema y su funcionamiento.

Al final del día, habrá que considerar tanto las regulaciones gubernamentales, los planes nacionales del desarrollo, como los requerimientos sociales hacia cambios de valores y mecanismos que regulan la economía y que por lo general desconocen los servicios ambientales del ecosistema. Esto no es una tarea fácil, pero hacia un manejo sustentable de ecosistemas y recursos explotables en el futuro inmediato del Caribe colombiano, esto es absolutamente necesario. Después de este Libro, el golfo de Urabá y en él los deltas de los ríos Atrato, Turbo y otros tienen la oportunidad de ser el modelo de referencia para la Agenda de Segunda Generación en el litoral Caribe de Colombia. Por ejemplo, uno de los fundamentos serán los productos cartográficos de alta resolución que aquí se presentan, los cuales permiten hacer un recorrido virtual a escala 1:10.000 de los 609 km de costa del Caribe Sur.

Prólogo

La afectación y el deterioro de nuestros ecosistemas son tan amplios que todos los esfuerzos para ampliar y reforzar nuestra capacidad de investigación, bien sea pura o aplicada, es de importancia estratégica para Colombia, si queremos avanzar por el sendero de la sostenibilidad.

El conocimiento de los manglares del Caribe colombiano es el resultado del esfuerzo y pasión de muchas personas que han encontrado en estos ecosistemas no solo un objeto de estudio sino una vía para promover la valoración y protección de los ecosistemas acuáticos colombianos. El trabajo que se presenta en este libro "Expedición Caribe Sur: Antioquia y Chocó costeros", es el resultado del esfuerzo de personas e instituciones, que no se dejaron intimidar por las dificultades frecuentes en nuestro país y, conscientes de la necesidad e importancia de estudiar en detalle los manglares de la región de Urabá, organizaron y llevaron a cabo las diferentes salidas de campo en procura de conocer en detalle las particularidades de esta región, sus recursos naturales y su gentes. Este libro es fruto del trabajo de un grupo de

investigadores de varias disciplinas que durante dos años (2009 y 2010), se propusieron explorar uno de los ecosistemas más importantes y productivos de las zonas costeras del mundo, pero al mismo tiempo menos conocidos. En el texto el lector interesado o neófito encontrará aspectos relacionados con la distribución de las especies de mangles y fauna asociada a sus raíces (específicamente moluscos y poliquetos) presentes en las costas del golfo de Urabá, pero también encontrará una detallada descripción de los factores ambientales de la región urabeña: la geología, geomorfología y oceanografía. Adicionalmente, el inventario biológico se complementa con el estudio de las algas asociadas a las raíces y de los foraminíferos asociados a los sedimentos. Uno de los aspectos novedosos y sobresalientes es la cartografía de alta resolución que se elaboró para la franja costera comprendida entre Acandí (Chocó) y Arboletes (Antioquia), usando aerofotografías a color. Finalmente, se hace una sectorización del área de estudio y se identifican los vacíos en los estudios de estos ecosistemas regionales, se plantea el fortalecimiento de las líneas actuales de investigación así como la construcción de nuevas.

Ricardo Álvarez-León

**Biólogo Marino, Universidad de Bogotá “Jorge Tadeo Lozano”
Magister en Ciencias del Mar (Oceanografía Biológica y Pesquera),**

Universidad Nacional Autónoma de México

Candidato a Doctorado en Ciencias de la Vida, Universidad Libre Internacional de las Américas (España)

Este libro llega, después de una larga espera, para divulgar los resultados del *Proyecto Expedición Estuarina-golfo de Urabá*, parte del Programa *Expedición Antioquia 2013*, un consorcio constituido entre la Gobernación de Antioquia, la Universidad de Antioquia, la Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín y la Universidad EAFIT. Este complementa los resultados de grandes proyectos predecesores realizados a escalas nacional y regional: (1) Proyecto INDERENA/PNUD/FAO-COL/74/005, 1975; (2) Proyecto PD 171/91 Rev. (F) Fase 1 Conservación y Manejo para el Uso Múltiple y el Desarrollo de los Manglares en Colombia, MMA/OIMT/ACOFOR/CONIF PD 171/91 Rev. 2 (F) Fases I y II (Etapas 1 y 2), 1995-2001; (3) Proyecto sobre la Rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Sistema Manglar-Estuario, MMA/COLCIENCIAS/INVEMAR/GTZ, 1999; (4) Proyecto de las Condiciones Ambientales, los Cambios Estructurales y Funcionales de las Comunidades Vegetales y de los Recursos Pesqueros durante la Rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta: Un Enfoque de Manejo Adaptativo, MMA/BID/INVEMAR # 029/99, 2000; (5) Proyecto Geología y Oceanografía del Delta del Río San Juan, litoral Pacífico de Colombia, Universidad EAFIT/COL-

CIENCIAS, 2002. Así mismo, la publicación de los resultados de este proyecto servirá para apoyar la realización del Proyecto Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia, Escala 1:100.000 Convenio Marco No. 4206 de 2011, MADS / IDEAM / IIRBAvH / SINCHI / INVEMAR / IIAP/PNN/IGAC, 2015.

Sin duda, el conocimiento de nuestros sistemas acuáticos costeros, los librará del creciente deterioro debido a las múltiples actividades antrópicas, que sin dejar de aprovechar el patrimonio como recursos naturales renovables, deberá privilegiar la protección de la diversidad biológica.

Sinceras felicitaciones, por tanto, para todos los participantes en el Proyecto y a los autores de cada uno de los capítulos del presente libro y de los artículos nacionales e internacionales producidos paralelamente, pues es la forma más eficaz de divulgar los resultados obtenidos. Por último, mi reconocimiento y sinceros agradecimientos por haberme invitado a prologar este incomparable aporte a las ciencias naturales de Colombia.

REFERENCIAS

- Blanco Libreros, J. F., M. Londoño Mesa, L. Quan-Young, L. E. Urrego Giraldo, J. H. Polanía, A. F. Osorio Arias, G. Bernal, I. D. Correa, 2011. *The Uraba Gulf Mangrove Expedition of Colombia*. ISME/GLOMIS, 9 (3): 8-10. Available on-line at <http://www.glomis.com>
- Blanco Libreros, J. F., M. Londoño Mesa, I. D. Correa Arango, A. F. Osorio Arias, J. H. Polanía, L. E. Urrego Giraldo, 2013. *Crónicas de la Expedición: Exploración del Golfo de Urabá 2007-2013*. Universidad de Antioquia, Universidad EAFIT, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 31 pp.
- Day, J. W., A. Yáñez-Arancibia (Eds.), 2013. *Ecosystem-Based Management, Volume 4 The Gulf of Mexico Origin, Water, and Biota, Harte Research Institute Series, Texas A&M University Press, College Station, TX, USA, 460 pp.*
- Fanning, L., R. Mahoon, P. McConney (Eds.), 2011. *Towards Marine Ecosystem-Based Management in the Wider Caribbean*. Amsterdam University Press, The Netherlands, MARE Publications Series No. 6, 426 pp.
- Hershman, M. J., J. R. Hansen, 2006. The U.S. *Commission on Ocean Policy: An Historical Overview 1997-2005*. Ocean Yearbook 20: 93-145.
- Yáñez-Arancibia, A., J. W. Day, B. Knoppers, J. A. Jiménez, 2011. *Coastal lagoons and estuaries: the ecosystem-based-management approach*. Chapter 17: 241-254, In: L. Fanning, R. Mahon, P. McConney (Eds.), *Towards Marine Ecosystem-Based Management in the Wider Caribbean*. MARE Series No. 6, Amsterdam, The Netherlands, 426 pp.
- Yáñez-Arancibia, A., J. W. Day, 2016. *Dimensión ecológica de los cambios globales: Integridad ecológica como estrategia de manejo ecosistémico costero en Latinoamérica*. In: Muniz, P., D. Conde, N. Venturini, E. Brugnoli (Eds.), *Ciencias Marino-Costeras en el Umbral del Siglo XXI: Desafíos en Latinoamérica y el Caribe*. AGT Editorial S. A., México. 350 pp. (En prensa).





CAPÍTULO 1

¿Por qué explorar los estuarios y manglares del litoral caribe de los departamentos de Antioquia y Chocó?





Las aguas turbias del río Atrato que salen por boca Tarena se mezclan con las aguas cristalinas del mar Caribe. *Boca Tarena* es el límite entre los departamentos de Antioquia y Chocó. Sin embargo, para los habitantes del golfo de Urabá y del golfo del Darién es un punto de encuentro*. Si el límite lo definieran las aguas turbias del río Atrato, entonces aquél sería difuso: pues un departamento se convierte gradualmente en otro. Más aún, esta línea delgada y difusa por demás, desaparece por temporadas. Ni qué decir de la rica fauna marina que no reconoce límites jurisdiccionales; se mueve de aquí para allá. Ésta es la naturaleza dinámica y difusa del estuario. Una definición intuitiva del mismo podría ser: “el área donde el río se encuentra con el mar, donde cada uno se convierte gradualmente en el otro”. Por tanto, la exploración del ámbito donde se mueve la biota marina, estuarina y fluvial no puede considerar límites departamentales. Este proyecto pone a consideración una aproximación bio-geográfica para avanzar en el conocimiento de la región Caribe de los departamentos de Antioquia y Chocó. Foto y texto: J. F. Blanco.

*Conceptos fundamentales dentro del “*Plan de Etnodesarrollo del Consejo Comunitario Negro de la Cuenca del Río Acandí y Zona Costera Norte*”

¿Por qué explorar los estuarios y manglares del litoral caribe de los departamentos de Antioquia y Chocó?

Juan F. Blanco-Libreros

Grupo ELICE (Ecología Lógica: Islas, Costas y Estuarios),
Instituto de Biología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad de Antioquia, Medellín. A.A. 1226.
Calle 70 #52-21

juan.blanco@udea.edu.co

Resumen: Las exploraciones científicas del territorio colombiano durante los siglos diecinueve y veinte marcaron hitos importantes para el desarrollo socio-económico del país. Sin embargo el litoral *Caribe sur*, contenido en los departamentos de Antioquia y Chocó, fue hasta el inicio del siglo XXI uno de los territorios menos explorados de manera sistemática dentro de la geografía nacional. La *Expedición Estuarina, golfo de Urabá*, propuso cartografiar los manglares del Golfo, teniendo en cuenta sus características únicas en el contexto del Caribe colombiano y que no existía una cuantificación precisa de su extensión. Un objetivo adicional fue realizar un inventario geo-referenciado de las comunidades de macroinvertebrados asociados a las raíces y su contexto estructural forestal, sedimentológico, geomorfológico y oceanográfico. La Expedición buscó llenar los vacíos de información originados por la limitada cobertura espacial y temporal de los estudios, la falta de multidisciplinariedad, el desfase espacial de los estudios de diferentes disciplinas, y la carencia de colecciones biológicas de referencia. Los resultados de la *Expedición* proveyeron una información detallada acerca de los patrones biogeográficos preliminares observados en los estudios previos. Se informa que los manglares son los más desarrollados del Caribe sur, dominados por una o pocas especies, y poseen una alta abundancia relativa de bivalvos, adaptados a las condiciones estuarinas del Golfo impuestas por el gran aporte de agua dulce que suministra el río Atrato. Se espera que los resultados de la *Expedición* apoyen el manejo integrado de la zona costera, el plan de manejo de los manglares, los planes de ordenamiento territorial de los municipios costeros y los planes de ordenación de cuencas hidrográficas costeras.

Abstract: Scientific explorations in the Colombian territory during the XIX and XX centuries boasted the socio-economic development. Nonetheless, the Southern Caribbean comprised within the Antioquia and Chocó states was one of the least explored territories nationwide until the beginning of the XXI century. The *Expedición Estuarina, golfo de Urabá*, proposed mapping the Gulf's mangroves, bearing in mind their unique features within the Caribbean context, and that a precise estimation of their extent was lacking. An additional aim was to assemble a geographically explicit inventory of macroinvertebrate root fouling, and surrounding forest structure, sedimentology, geomorphology, and oceanography. The *Expedición Estuarina*, was aimed at offsetting the information gaps due to the limited spatio-temporal coverage of the studies, to the lack of multidisciplinarity, spatial impairing of studies in different disciplines, and absence of reference biological collections. The results of the *Expedición Estuarina* report in detail about preliminary biogeographic patterns observed in previous studies. It is reported that mangroves were the best developed in the Southern Caribbean, dominated by a single or a couple of species, and supported a root-fouling community dominated by mussels, adapted to the estuarine conditions of the Gulf imposed by the high freshwater discharge from the Atrato River. It is expected the results of the *Expedición* to support integrated coastal zone management, mangrove management, urban and rural planning of coastal municipalities, and integrated watershed management.

¹Documento actualizado a partir de la propuesta de investigación enviada a la Gobernación de Antioquia, y al *Programa de Expedición Antioquia* 2013, para su financiación en diciembre de 2007 y modificado en diciembre de 2008. Actualizado para efectos del presente libro.

INTRODUCCIÓN

Las regiones de Darién y Urabá² han atraído el interés de exploradores, conquistadores, piratas, comerciantes, inversionistas y científicos durante más de 500 años. A pesar de esta rica y larga historia de exploración y usos, la investigación sobre estos territorios (Keep-Correa, 2000; Ménanteau, 2007), como son el inventario científico y sistemático de sus recursos naturales, particularmente los marinos y costeros, es incipiente en comparación a otras regiones costeras del Caribe colombiano y del país.

La historia del golfo de Urabá se remonta a tiempos precolombinos y a los primeros años de la exploración y conquista de América por parte de la Corona Española (Keep-Correa, 2000; Ménanteau, 2007). Los primeros asentamientos españoles (San Sebastián de Urabá y Santa María la Antigua del Darién) datan del periodo 1509–1515, mientras que las primeras exploraciones tierra adentro remontando el río León, ubicado en el sur del golfo de Urabá, fueron iniciadas en 1535. Estos asentamientos y exploraciones tempranas, motivados por la búsqueda de las tierras ricas en oro, fueron los precursores de la exploración y colonización de los Andes occidentales y del descubrimiento del océano Pacífico. En 1785 se construyó el *Fuerte de San Carlos* en la planicie del río Caimán, ubicado al norte de la actual ciudad de Turbo, para defender la región de los constantes ataques de corsarios y piratas franceses y escoceses. Sin embargo, la ciudad de Turbo fue oficialmente fundada en 1839, después de la independencia de Colombia del dominio español. Con este acto se autorizó la deforestación de 11200 ha de bosque por medio de la emisión de títulos de 210 ha por familia. Las crónicas mencionan que alrededor de 1853 los colonos cultivaban plátano, banano, caña de azúcar y arroz, y que posteriormente cultivaron café, cacao y caucho en los bosques inundables del río Turbo, zonas que en los mapas del siglo previo indicaban que “eran buenas tierras para plantaciones” (Keep-Correa, 2000; Ménanteau,

2007). La industria bananera empezó desde mediados del siglo diecinueve de la mano de la construcción del tren Medellín-León por parte de sucesivos inversionistas privados: los cuales, no obstante, enfrentaron muchos reveses económicos y logísticos. En 1937, el gobierno del departamento de Antioquia declaró la *Zona Bananera* como un incentivo para el establecimiento de plantaciones; lo cual favoreció la llegada de varias productoras y comercializadoras de banano y plátano hasta los años setenta, las cuales han logrado establecer una robusta y productiva industria hasta la actualidad (Blanco, 2009). Sin embargo, la expansión agrícola, juntamente con la expansión de la actividad ganadera, han sido responsables de la extensa deforestación de los bosques de inundación de la planicie costera del golfo de Urabá (García-Valencia, 2007; Blanco, 2009).

En contraste con los reportes sobre la colonización del golfo de Urabá y la violencia durante los años ochenta y noventa, poco se conoce sobre las exploraciones científicas y los estudios acerca de sus recursos marinos y costeros. Si bien se tiene conocimiento de investigaciones realizadas acerca de los manglares y los estuarios desde los años ochenta, esta información está dispersa en forma de tesis en las bibliotecas de las principales universidades del departamento, informes técnicos en la *Corporación para el Desarrollo Sostenible de la Región de Urabá (CORPOURABA)*, y algunas publicaciones seriadas nacionales. Estos estudios han sido, además, realizados de manera desfasada en el tiempo y en el espacio, y por tanto no permiten tener un conocimiento integral del Golfo como unidad ambiental; y en la mayor parte de los casos no permiten hacer interpretaciones multitemporales. Por otra parte, la información sobre el litoral Caribe del Chocó y de Antioquia es aún más escasa, siendo incluida dentro de informes de estadísticas ambientales a nivel departamental o nacional (IGAC-INGEOMINAS,

² Provenientes de la voces indígenas Tarién y Uramá de acuerdo al ingeniero geógrafo Ahmed Restrepo, comunicación personal.

2005; IGAC, 2006; IGAC et al., 2007). Desde 2003, CORPOURABA en conjunto con la Gobernación de Antioquia y el *Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras de Punta Betín (INVEMAR)*, iniciaron un proceso de síntesis de la información y cartografía disponibles para elaborar el plan de manejo de la *Unidad Ambiental Costera (UAC) Darién*, como un instrumento para abordar las múltiples problemáticas ambientales y socio-económicas de la región (INVEMAR-CORPOURABA, 2003; INVEMAR et al., 2007, 2008; García-Valencia, 2007).

A pesar de ello, aún se carecía de instrumentos cartográficos de alta resolución; ya que las imágenes de los satélites *Landsat*, *Spot* y *Modis*, utilizadas para la fotointerpretación de las geoformas y coberturas vegetales costeras, tenían escalas entre 1:250.000 y 1:100.000. Solamente para algunas cabeceras municipales se contaba con aerofotografías de escala 1:25.000 para varios años. Finalmente, algunos planes de etnodesarrollo de los consejos comunitarios negros, como el del río Acandí y Chocó Norte, han hecho un esfuerzo por compilar la información local dispersa en la literatura, dentro de sus planes de etnodesarrollo (Emigdio Pertúz, comunicación personal).

A partir de las fortalezas y debilidades encontradas en una revisión de la información existente hasta 2007, se planteó la *"Expedición Estuarina, golfo de Urabá: fase 1"*, cuyos resultados se presentan en este libro. Esta Expedición se enmarcó dentro del programa *"Expedición Antioquia 2013"*, un consorcio entre la Gobernación de Antioquia y varias universidades del Departamento, cuyos objetivos fueron: 1) Desarrollar proyectos y líneas de investigación a profundidad sobre los recursos que conforman la gran diversidad de Antioquia; y 2) Realizar inventarios exhaustivos de tales recursos, georreferenciarlos y asegurar su protección jurídica. Durante la primera etapa de ejecución de proyectos dentro de la *"Expedición Antioquia*

2013", se buscó la inclusión de las subregiones menos exploradas, la multi-disciplinariedad, las alianzas y sinergias entre la academia, entes territoriales y corporaciones autónomas; y generar un impacto positivo en el ámbito educativo.

Finalmente, se promovieron las relaciones con la sociedad civil tales como asociaciones comunitarias y organizaciones no gubernamentales. Estos objetivos y líneas de acción pretendieron generar identidad, riqueza, desarrollo y equilibrio regionales, en un marco territorial incluyente, dentro del departamento de Antioquia.

La *Expedición Estuarina* acogió los objetivos, líneas de acción y misión de la *"Expedición Antioquia 2013"* para la exploración de la región litoral de los departamentos de Antioquia y Chocó; la cual a su vez retomó el espíritu de las exploraciones naturalistas realizadas durante los siglos XIX y XX. Desde la primera exploración geográfica de una parte del territorio de la Nueva Granada realizada por Alexander von Humboldt en 1801, ha existido un interés intrínseco en comprender cómo las condiciones climáticas y geológicas determinan las características de la flora y fauna. De hecho, uno de los primeros sistemas de clasificación del territorio fundamentado en propiedades de la vegetación (*"El influjo del clima sobre los seres organizados"*, 1808), fue propuesto por Francisco José de Caldas (1768–1816), naturalista y geógrafo payanés, quien acompañó a von Humboldt en parte de su viaje, pero también fue un miembro clave de la *Expedición Botánica* iniciada por José Celestino Mutis en 1783. Comúnmente se resalta la importancia de esta Expedición por la enorme cantidad de plantas descubiertas y descritas en forma de numerosas planchas; pero se deja a un lado la igualmente importante producción de material cartográfico y colecciones no botánicas (maderas, conchas, resinas, minerales y pieles de animales) que la acompañaron.

La exploración del territorio antioqueño se inició con Francisco Silvestre en 1776 y, posteriormente, José Manuel Restrepo elaboró una geografía de la provincia de Antioquia en 1808. Luego, durante la *Comisión Corográfica* (1850–1856), patrocinada por el Estado Colombiano y liderada por el cartógrafo italiano Agustín Codazzi, se realizó una nueva expedición botánica liderada por José Jerónimo Triana. También dentro de la Comisión se recogió información geográfica y política del Estado de Antioquia por parte de Carlos Segismundo De Greiff. Durante la década de los treinta del siglo XX, el gobierno colombiano continuó con el interés de constituir una base de datos geográficos y estadísticos del país, conformando el *Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE)* y el *Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)*. Las estadísticas ambientales georreferenciadas más recientes del departamento de Antioquia fueron publicadas por IGAC et al. (2007: “*Antioquia: Características geográficas*”), y Hermelin (2006: “*Geografía de Antioquia*”); sin embargo, en ambas hubo un gran vacío de información sobre los ecosistemas costeros y marinos, siendo la región de Urabá abordada someramente dentro de los capítulos alusivos a la dimensión física (clima, hidrología y geología). Solamente Correa (2006) dentro de la “*Geografía de Antioquia*”, abordó específicamente el litoral antioqueño desde una perspectiva geológica, resaltando los problemas ambientales más relevantes como el aumento del nivel del mar, la erosión costera y el *diapirismo*. Por otra parte, el capítulo concerniente a la biogeografía dentro de la “*Geografía de Antioquia*”, tuvo un enfoque completamente terrestre. La primera compilación de las estadísticas de los ecosistemas costeros y marinos de Antioquia y Chocó (Darién) la realizó García-Valencia (2007: “*Atlas del golfo de Urabá*”), incluyendo una minuciosa reconstrucción de la cartografía histórica, una georreferenciación de las características oceanográficas y de la zona costera, y un análisis de la situación socio-económica e institucional con fines de manejo de la *UAC Darién*.

La “*Expedición Estuarina, golfo de Urabá, fase 1*”, avanzó en este esfuerzo de exploración detallada y cartografía de alta resolución (1:10.000) del litoral Caribe de los departamentos de Antioquia y Chocó, enfocándose en desarrollar una base de

datos georreferenciados sobre los manglares, y su contexto geológico y oceanográfico. Finalmente, con estas acciones se buscó compensar la falta de conocimiento acerca de los manglares, que había generado hasta la fecha una subvaloración, y que había contribuido a su deterioro y a su asociación con el desarrollo urbano marginal: desconociendo el potencial que este y otros ecosistemas costeros y marinos tenían para el desarrollo socio-económico de la región, dominado tradicionalmente por actividades asociadas al monocultivo del banano y el plátano (INER, 2003).

Este capítulo, por tanto: 1) introduce las características ambientales que motivaron la exploración sistemática de este litoral; 2) sintetiza la información más relevante disponible hasta 2011 sobre los manglares y estuarios; y 3) describe los objetivos y resultados principales de la *Expedición* que se presentarán en los capítulos siguientes. Dado que después de 2011 los investigadores de la Expedición continuaron con investigaciones, se incluyó un epílogo que resume los avances entre 2012 y 2016.

Una región única y compleja en el ámbito del Caribe colombiano

A partir de la información compilada en el “*Atlas del golfo de Urabá*” (García-Valencia, 2007) y otras fuentes previas, se identificaron varias justificaciones y necesidades para estudiar la región. El golfo de Urabá es el accidente geográfico más distintivo y grande del Caribe sur y tiene características *únicas en el ámbito del Caribe colombiano*. En primer lugar, puede ser considerado como *el estuario o el complejo estuarino más grande de todo el Caribe colombiano y de la cuenca Caribe Sur*. Los estuarios son los ecosistemas más frecuentes y extensos dentro de las zonas costeras de todo el mundo, desde los trópicos hasta las zonas boreales. Esto no es extraño porque un estuario fue definido por Pritchard (1967) como: “Un cuerpo de agua costero, semi-cerrado, dentro del cual el agua marina está mediblemente diluida con agua dulce”. Por tanto, desembocaduras de ríos, ensenadas, bahías y golfos se ajustan a dicha definición. Aunque en Colombia no es

común considerar a las bahías y golfos como estuarios *sensu stricto*, autores como Cantera y Blanco (2001) los han considerado como siendo tales (e.g. bahía de Buenaventura), dado que cumplen con los componentes que tiene la definición de Pritchard (1967). El golfo de Urabá puede considerarse como un cuerpo de agua semi-cerrado debido a que es relativamente angosto (rango: 5,9–48,5 km), con relación a su longitud (80 km). El agua marina que ingresa al Golfo es diluida por el caudal de agua dulce del río Atrato (4.155 m³/s en la estación Domingodó; el segundo mayor aporte al Caribe colombiano) y de otros ríos, quebradas, arroyos y caños (Marín-Zambrana, 2002; INVEMAR-CORPOURABA, 2003; Bernal et al., 2005; Thomas et al., 2007). En consecuencia, el agua marina es “mediblemente diluida” desde la parte externa del Golfo hacia las desembocaduras de los ríos, y al mismo tiempo hacia el sur del Golfo en la bahía Colombia. Las costas más externas de los departamentos del Chocó y Antioquia ubicadas sobre el mar Caribe, usualmente clasificadas como parte del golfo del Darién (el cual incluye al golfo de Urabá en su parte más interna), podrían considerarse episódicamente influenciadas por la pluma turbia del río Atrato, aunque por definición están por fuera del estuario en sentido estricto. En conclusión, el golfo de Urabá tiene características de circulación estuarina compleja, dominada por la alta descarga de agua dulce y sedimentos del río Atrato, en un ámbito costero de baja energía mareal y de oleaje (Bernal et al., 2005; Restrepo, 2008).

En segundo lugar, el golfo de Urabá *alberga los manglares³ más desarrollados del Caribe colombiano* (Sánchez-Páez et al., 1997), siendo además diferentes en términos de composición de especies vegetales. Particularmente en el delta del río Atrato, el manglar alcanza diámetros y alturas mayores que las del resto del Caribe colombiano. Por otra parte, el mangle rojo (*Rhizophora mangle*) tiene el mayor valor de

importancia del Caribe colombiano: producto del gran desarrollo diamétrico, una alta densidad y una alta frecuencia (Sánchez-Páez et al., 1997). Este manglar conforma bosques casi monoespecíficos (rodiales) en algunas localidades, particularmente en el delta del río Atrato y la ensenada de Rionegro, similares a los que se encuentran en el Pacífico colombiano (Restrepo, 2002). En tercer lugar, *presenta las áreas más extensas del mangle piñuelo* (*Pelliciera rhizophorae*), el cual es escaso en todo el Caribe, incluyendo el colombiano (Sánchez-Páez et al., 1997; CORPOURABA, 2003). Esta escasez se debe posiblemente al incremento de la salinidad después del levantamiento del istmo de Panamá hace 3,2 millones de años. Actualmente, los mayores rodales de piñuelo se encuentran en el Pacífico colombiano, al norte de cabo Corrientes (Sánchez-Páez et al., 1997). Se desconoce si estas poblaciones dentro del Golfo son un relictos de la distribución ancestral relacionada con el Pacífico norte, o se han establecido recientemente favorecidas por el transporte en aguas de lastre en los buques, y la baja energía del oleaje, y la gran escorrentía de agua dulce que influyen sobre los suelos consolidados y elevados: condiciones que no son comunes en el litoral Caribe. Adicionalmente, los manglares del golfo de Urabá podrían ser uno de los más productivos del Caribe colombiano [dado que reciben mayor precipitación anual, >2.500 mm, que otras partes del Caribe (Thomas et al., 2007), lo cual está directamente relacionado con la productividad de acuerdo a la literatura especializada. Por ello, se ha sugerido en la literatura que los manglares del Golfo soportan una abundante fauna asociada, que es de gran importancia para la *actividad pesquera comercial artesanal* (CORPOURABA, 2005). Sin embargo, no existían estudios locales sobre la función ecosistémica del manglar que apoyen dichas afirmaciones. Durante la *Expedición Estuarina* se realizaron los primeros estudios en la bahía Marirrí, pero tuvieron una corta duración (Cadavid, 2010).

³ Formaciones vegetales dominadas por especies que se ubican en la zona intermareal y que toleran aguas salinas dentro de sus tejidos.

En cuarto lugar, *la geología, la geomorfología y la oceanografía son complejas* (Correa y Vernet, 2004; Bernal et al., 2005). Prueba de ello son los numerosos deltas, las bahías y las ciénagas que alberga el Golfo, los cuales son un mosaico de materiales, orígenes y procesos (Marín-Zambrana, 2002; Thomas et al., 2007). Mientras la litología de la costa chocona es predominantemente basáltica, la de la costa del Caribe antioqueño es predominantemente sedimentaria. Adicionalmente, en el interior del Golfo las planicies sedimentarias son de origen tanto fluvial como marino.

La dinámica oceanográfica del Golfo también es controlada por la interacción de procesos fluviales y marinos (García-Valencia, 2007). Por una parte la migración de la *Zona de Convergencia Intertropical* (ZCIT) determina las temporadas de lluvias y, por tanto, las descargas fluviales. Además del río Atrato, las descargas fluviales (caudal líquido y sólido) de las pequeñas cuencas hacen altos aportes de sedimentos por unidad de área de la cuenca (Restrepo y Kjerfve, 2000; Thomas et al., 2007; Blanco, 2009); por lo cual el medio marino e intermareal es altamente dinámico debido al proceso de progradación de los pequeños abanicos deltaicos. Por otra parte, la migración de la ZCIT también determina el patrón de dirección y velocidad del viento, y, consecuentemente, la dinámica del oleaje. Se reconocen dos épocas climáticas claras: lluvia (abril-noviembre) y sequía (enero-marzo) (Chevillot et al., 1993; Montoya y Toro, 2006). Se conoce en general que las mareas, las corrientes marinas y las olas son en conjunto responsables de la circulación marina; sin embargo, debido a que el rango mareal es relativamente estrecho y a que el interior del Golfo se encuentra constreñido en su parte meridional por el delta del río Atrato, este se encuentra protegido de las corrientes oceánicas del mar Caribe (Thomas et al., 2007; Restrepo, 2008), y, por tanto, la deriva litoral asociada al oleaje parece ser el principal proceso que influye en la dinámica costera, principalmente en la erosión de las áreas con déficit de sedimentos (Correa y Vernet, 2004). Las variaciones estacionales de la dirección del viento también son fundamentales para explicar la dinámica de la pluma del río Atrato, principal responsable de la circulación en el Golfo (Montoya y Toro, 2006). Durante las dos épocas climáticas típicas la dirección del viento se alterna

entre el noroeste y el suroeste, alterando así la dirección de la pluma. Infortunadamente, el oleaje ha sido menos estudiado en el Caribe, aunque se han dado avances posteriores a la ejecución de la *Expedición Estuarina* (INVEMAR-CORPOURABÁ, 2003; Agudelo et al., 2005; Ortiz-Royero et al., 2008; Osorio et al., 2009; Ruíz y Bernal, 2009). Estos estudios recientes resaltan que los oleajes generados por el paso de ciclones (tormentas tropicales y huracanes), por la cuenca del Caribe, pueden causar alturas de ola significativa cercanas a los 2 m en el exterior del golfo de Urabá, evidenciando la importancia de eventos extremos causantes de mares de leva sobre los ecosistemas litorales del mismo.

Finalmente, los análisis de la temperatura superficial del mar y de la salinidad muestran que las condiciones oceanográficas sobre la plataforma continental, al frente del golfo del Darién, presentan características distintas a las del resto del Caribe colombiano: influenciadas por el aporte del caudal del río Atrato, una corriente marina en dirección oriental (Andrade et al., 2003; Bernal et al., 2006; Ruiz et al., 2010; 2012). A raíz de la anteriormente mencionada complejidad geomorfológica y oceanográfica, es posible encontrar varios ecosistemas tales como los manglares y bosques de transición con agua dulce (*panganales, arracachales, helechales*), los fondos blandos sumergidos y emergidos (playas), el litoral rocoso, las praderas de pastos y algunos parches de arrecifes coralinos (estos dos últimos en la costa chocona), que en su conjunto favorecen una diversidad marina de niveles intermedios (INVEMAR-CORPOURABA, 2003; INVEMAR, 2006; García-Valencia, 2007).

Una región poco conocida

La gran área y complejidad biofísica del Golfo contrastaba con el limitado conocimiento que se tenía de su biota y sus ecosistemas hasta 2007; a pesar de los esfuerzos de científicos e instituciones llevados a cabo en años previos (e.g. CORPOURABA, 2003; INVEMAR-CORPOURABA, 2003; García-Valencia, 2007). Por ejemplo, el número de estudios biológicos realizados en el Golfo era significativamente menor que en la Ciénaga Grande de Santa Marta, la cual es

aproximadamente tres veces más pequeña (Garay et al., 2004a). Los estudios disponibles eran en su mayoría trabajos de grado e informes técnicos, algunos pocos publicados en revistas científicas, como se verá más adelante (ver ejemplo en la *Revista Gestión y Ambiente* de la *Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín*, 2008, volumen 11, número 3). Aunque en la sección anterior se mencionaron varios estudios sobre diversos temas de la oceanografía y geología, no existía un compendio sistemático que integrara el conocimiento de las dos disciplinas, y éste con la ecología de los ecosistemas costeros y marinos. La mejor aproximación realizada hasta ese momento era la publicada por García-Valencia (2007) previamente al inicio de la *Expedición Estuarina*; pero a pesar de su carácter enciclopédico seguía siendo descriptiva y multidisciplinaria. Finalmente, este grado de desconocimiento era todavía más sorprendente cuando se comparaba con los ecosistemas terrestres de Antioquia, su flora y fauna vertebrada e invertebrada (principalmente insectos).

Una región amenazada

La diversidad ecosistémica y biológica está amenazada por disturbios naturales y por actividades humanas actuales, y futuros megaproyectos de infraestructura. Por ejemplo, la erosión costera ha sido un problema mayor en la costa oriental en el sector entre Arboletes y Turbo (Correa y Vernet, 2004), y en la costa noroccidental en el Urabá chocono (Bernal et al., 2005). A pesar de ello, la alta sedimentación es un problema local en la bahía El Uno y en la bahía Colombia, probablemente relacionada con las altas tasas de erosión de las cuencas altas (Bernal et al., 2005; Blanco, 2009). Para estas dos problemáticas se ha construido infraestructura de protección y se realizan dragados periódicos en la zona costera, respectivamente: pero con resultados poco exitosos, costos elevados y algunos efectos negativos para los ecosistemas costeros (Correa y Vernet, 2004; Bernal et al., 2005; García-Valencia, 2007). Similarmente a la situación de los manglares de todo el Caribe colombiano (INVEMAR, 2006), los manglares del Golfo estaban y continúan estando amenazados por la expansión

de las fronteras urbana y agrícola, la tala indiscriminada para la extracción de madera y la producción de carbón (CORPOURABA, 2003; 2005), así como por la contaminación con pesticidas y otros residuos químicos (INVEMAR-CORPOURABA, 2003; Garay et al., 2004b). Para afrontar dicha problemática ya se ha avanzado en la elaboración de un plan de manejo de esta unidad ambiental, por parte de la autoridad ambiental de la región (INVEMAR-CORPOURABA, 2003; CORPOURABA, 2005).

Además de la problemática arriba descrita, la biodiversidad marina del Golfo no se encontraba almacenada en ningún museo. La participación de Colombia en el *Convenio de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica*, la firma del *Mandato de Jakarta* y la declaración de Colombia como uno de los doce *países megadiversos*, obligan a los gobiernos nacional y departamental a tomar acciones para la actualización del inventario, particularmente el marino, ya que este abarca 33 de los 34 *phyla* conocidos y el 50% del territorio nacional (INVEMAR, 2006). Finalmente, muchas especies marinas del Caribe ya estaba en estados críticos o en vías de extinción, y aunque algunas de ellas se encontraban dentro del Golfo se desconocía su estado de conservación y se carecía de planes de conservación o manejo (Ardila et al., 2002; Mejía y Acero, 2002). Por tanto, era urgente realizar una expedición a todos los estuarios del Golfo para levantar un inventario detallado de la biota asociada a los manglares, dejando un legado en forma de museo a las generaciones futuras, y ello acoplado a un sistema de información geográfica con una descripción detallada del marco biofísico (estado del manglar, características geomorfológicas y oceanográficas), para identificar zonas sensibles a proteger por medio de reservas marinas, hasta ahora inexistentes. En la actualidad hay zonas que, debido a su importancia ecosistémica, se han declarado con figuras de protección locales: tales como el *Distrito de Manejo Integrado* de la ensenada de Rionegro (CORPOURABA-DAMA, 2007), la *Reserva Forestal Protectora de los Humedales* entre los ríos León y Suriquí (CORPOURABA et al., 2008), y *Parque Regional Manglares del Delta* del río Atrato.*

*Impugnado por el Consejo Comunitario de Bocas del Atrato y Leoncito

De hecho, Ramírez et al. (2009) habían identificado que estas dos últimas unidades de manejo podían unificarse bajo una figura de Área Marina Protegida, altamente viable dentro del sistema de parques nacionales naturales. Adicionalmente, el mismo estudio identificó varias áreas en el Caribe chocoano como viables para el establecimiento de áreas marinas protegidas.

Antecedentes de investigaciones sobre la estructura del manglar y la fauna asociada a las raíces de los mangles

El manglar es el ecosistema costero más extenso de todo el Golfo y, tal vez, el que provee un mayor número de bienes y servicios a los habitantes (CORPOURABA, 2003; INVEMAR-CORPOURABA, 2003; García-Valencia, 2007). Por ejemplo, se menciona que éste alberga una rica y abundante comunidad de peces que sostiene las pesquerías locales (artesanales), aunque también se presenta pesca industrial ilegal por parte de embarcaciones foráneas que ingresan al Golfo. A pesar de la importancia de los peces para las pesquerías, éstos no fueron estudiados durante la *Expedición Estuarina*, a causa de que por su gran movilidad son difíciles de muestrear, y pobres indicadores de las condiciones actuales del manglar y de las características oceanográficas promedio. Por el contrario, la fauna invertebrada asociada a las raíces de los mangles podía ser una mejor indicadora del grado de desarrollo, del estado de conservación de los bosques de manglar, y de las condiciones oceanográficas circundantes, debido a su baja movilidad y al transporte pasivo de las larvas realizado por las corrientes marinas; por lo cual se consideraron como grupo objeto dentro del presente inventario del manglar y su fauna asociada. A continuación se sintetiza la información existente hasta 2011 en los inventarios forestales previos del manglar y en los estudios regionales (Gran Caribe y Caribe colombiano), y locales (golfo de Urabá) de la fauna asociada a las raíces de los mangles.

Inventarios forestales. Los estudios forestales realizados en el golfo de Urabá con respecto a la composición florística de los manglares se pueden considerar recientes. En 1987, el INDERENA-

Regional Antioquia, suscribió mediante contrato con ECOFOREST LTDA, el proyecto: *"Evaluación general de los manglares localizados en el golfo de Urabá"* (ECOFOREST, 1990), para realizar un inventario forestal en 14 sectores. Posteriormente, el municipio de Necoclí contrató un estudio para zonificar los manglares de la ensenada de Rionegro, que también incluyó muestreos en la bahía Marirrí (Sánchez-Valencia, 1998). Simultáneamente, el *Ministerio del Medio Ambiente* realizó una zonificación del estado de conservación del manglar en el golfo de Urabá dentro del inventario nacional *"Diagnóstico y Zonificación Preliminar de los manglares del Caribe de Colombia"* (Sánchez-Páez et al., 1997). Dada la limitada cobertura espacial del proyecto dentro del Golfo (12 estaciones agrupadas solamente en el delta del río Atrato y la ensenada de Rionegro), se realizó un segundo proyecto por parte de CORPOURABA (2003) denominado: *"Caracterización y Zonificación de los Manglares del Golfo de Urabá, Departamento de Antioquia"*, el cual cubrió ampliamente el Golfo por medio de 48 estaciones de muestreo distribuidas en 35 localidades, que cubrieron todo el litoral departamental, incluyendo el Caribe antioqueño entre punta Caribaná y Arboletes. Con base en este muestreo se estableció una clasificación de las localidades en tres categorías: conservación, recuperación y uso sostenible. Aunque se realizaron muestreos de recurso pesquero y de macroinvertebrados asociados al manglar, no fueron tenidos en cuenta dentro de la anterior clasificación. Finalmente, se redactó el *"Plan de manejo integral de los manglares del Golfo de Urabá y mar Caribe antioqueño"* (CORPOURABA, 2006), con el objetivo de restaurar las áreas de manglar degradadas en el golfo de Urabá y mar Caribe antioqueño, y de restablecer sus servicios ecosistémicos. Se verificó y actualizó el diagnóstico realizado en el estudio de CORPOURABA (2003), se aforó el volumen forestal susceptible de aprovechamiento en las zonas de uso sostenible, ubicadas en las bahías Candelaria, Burrera y La Paila; y se instalaron seis parcelas permanentes de crecimiento (PPC) como herramientas básicas de manejo para conocer la dinámica de estos ecosistemas. Estas PPC se establecieron en las tres zonas: Conservación (bahía Marirrí, ensenada de Rionegro y Caimán Bajo), recuperación (punta Yerbazal) y uso sostenible

(bahía Candelaria y bahía Burrera). Se desconoce la existencia de inventarios florísticos de especies asociadas al manglar (diferentes a los mangles), aunque algunas especies arbóreas de gran porte fueron incluidas en los inventarios forestales (CORPOURABA, 2003). También se desconoce en qué herbarios reposan ejemplares tipos o resultados de colectas.

Finalmente, dicho inventario estableció que los manglares en el golfo de Urabá tienen una extensión de 6993 ha (CORPOURABA, 2003), siendo las principales áreas el delta del río Atrato (en el costado oriental) y la ensenada de Rionegro (en el costado occidental). Existen manglares en otras partes del Golfo que podrían considerarse relictos (Suriquí, Puerto Cesar, punta Coquito, punta Las Vacas, El Uno, Caimán Nuevo). Las áreas en el Caribe (Damaquiel y río Hobo) son aún más pequeñas. Esta estimación se realizó con base en imágenes de satélite a una escala 1:100.000.

Posteriormente, se publicó un estudio que estimó el potencial del manglar del delta del río Atrato para sostener una unidad de corte anual (UCA), con fines de explotación maderera sostenible (CORPOURABA et al., 2009); pero dicha actividad nunca se ejecutó. A pesar de este potencial, los manglares de ésta área se encuentran en un estado fitosanitario delicado, a raíz de la alta incidencia de moluscos barrenadores (Teredinidae) que debilitan las raíces aéreas del mangle rojo, y a la frecuente formación de agallas, posiblemente relacionadas con hongos o bacterias (Sánchez-Alfárez et al., 2009), que debilitan y deforman los troncos.

Finalmente, se habían dado dos avances en términos de gestión de los manglares. Por una parte, se publicó la "*Política para el manejo integral de la zona costera de Antioquia*" (CORPOURABA, 2008), la cual, a pesar de su nombre, abarcaba programas y líneas de acción para la recuperación, monitoreo, evaluación, prevención y reducción de impactos humanos y desastres naturales en los ecosistemas costeros y marinos de toda la UAC Darién, que también comprende al departamento de Chocó. Esta política también resaltaba la importancia de la ordenación de las cuencas hidrográficas y de la planicie costera en general, para el manejo y conservación de los ecosistemas litorales. También se proponía una

estrategia de áreas marinas protegidas para proteger las áreas más importantes, tales como los manglares del delta del río Atrato y de la ensenada de Rionegro. Por otra parte, Uribe-Pérez y Urrego (2009) realizaron una compilación de las principales amenazas que enfrentan los manglares a una escala global, y describieron el marco normativo y de algunas estrategias de manejo del caso colombiano: lo cual podría ser de gran utilidad local (golfo de Urabá) debido a su carácter sintético.

En conclusión, previamente a la realización de la *Expedición Estuarina*, en el golfo de Urabá no se había realizado una clasificación bio-geográfica de las diferentes áreas del litoral, con base en las características estructurales de los manglares; ni se habían explorado los factores que determinaban la distribución natural de los mismos (geología y oceanografía). La cartografía existente era de una resolución gruesa, lo cual podía producir sobreestimaciones de la superficie de los manglares y los humedales vecinos, como los *panganales*, *arracachales* y *helechales*. Todas estas razones motivaron a la inclusión del componente forestal dentro de la *Expedición Estuarina*.

La fauna asociada a las raíces. El objetivo de este proyecto fue utilizar la fauna asociada a las raíces, principalmente los moluscos y los poliquetos (gusanos marinos) como bioindicadores de las condiciones ambientales de diferentes áreas geomorfológicas, y oceanográficas del Golfo. El estudio de esta fauna en el Caribe colombiano se inició en los años setenta en la ciénaga grande de Santa Marta (Cosel, 1973). Desde el primer trabajo (Cosel, 1973) se hizo un intento por caracterizar la fauna de moluscos dentro de la zona estuarina, clasificando las especies encontradas de acuerdo a su tolerancia a la salinidad. Además se hizo referencia a observaciones sobre la abundancia poblacional de las especies, que en algunos casos abarcaron desde 1969. De este primer estudio se tipificaron como especies habitantes de las raíces del manglar a los moluscos *Crassostrea rhizophorae* (que para aquella época era de gran importancia económica), *Congeria sallei*, *Martesia striata*, *Bankia fimbriatula*, *Neritina virginea* y *Littorina angulifera*. Los estudios sobre esta materia continuaron en la Ciénaga por parte de Palacio

(1977, 1978, 1983), quien amplió el cubrimiento taxonómico a toda la fauna de invertebrados de su área estuarina. En general, los estudios durante la década de los setenta se concentraron en la sub-área de Santa Marta y la parte más al norte del Caribe colombiano sur (Perdomo, 1973; Pérez y Victoria 1977, 1978); tendencia que continuó hasta los años noventa y el comienzo del siglo veintiuno (Reyes y Campos, 1992a, b; Díaz, et al. 1998; Leyton, et al., 1992; Caicedo-Lara et al., 1992; Prüssman, 2005; Quiceno, 2000). Las localidades más ampliamente muestreadas hasta el inicio de la Expedición eran la Ciénaga Grande de Santa Marta, la bahía de Cartagena y el golfo de Morrosquillo (aproximadamente 13 estudios) y, recientemente, el archipiélago de San Andrés y Providencia (Londoño-Mesa et al., 2002; Vilardy y Polanía, 2002; Moreno, 2002; Romero, 2004).

El conocimiento que se tenía sobre las comunidades de invertebrados asociados a raíces de los mangles en el golfo de Urabá era significativamente menor. A finales de los años ochenta se realizó el primer estudio, pero limitado a la bahía de Marirrí (Llano y Palacio 1988). En 1991 se ampliaron los muestreos a la bahía El Rotico (delta del río Atrato) y la ensenada de Rionegro, además de la bahía de Marirrí (Román-Valencia, 1991); pero no fue sino en la realización del proyecto "*Caracterización y Zonificación de los Manglares del Golfo de Urabá, Departamento de Antioquia*" (CORPOURABA, 2003; 2005) cuando se muestrearon extensamente las comunidades de las raíces de los mangles (Rojas y Palacio, 2003). Posteriormente, se estudiaron las bahías Turbo y El Uno en el costado oriental del Golfo, cubriendo completamente la estacionalidad pluviométrica durante un año (siendo el estudio de mayor cobertura temporal hasta el momento), encontrándose así el mayor número de especies hasta ahora reportadas para cualquier localidad (García y Correa, 2006).

Antes del desarrollo de la "*Expedición Estuarina*" existían tres zonas aún sin explorar: 1) la costa del Urabá chocoano entre Sapzurro y bahía Titumate; 2) la costa oriental entre La Martina (al norte de la desembocadura del río Turbo) y Necoclí; y 3) la costa Caribe antioqueña entre punta Caribaná y quebrada Peñoncito. Sobresale, además, la ausencia de registros de moluscos y gusanos poliquetos en

las estaciones ubicadas en los relictos de manglar, ubicados al sur de la ensenada de Rionegro y de los manglares ubicados en bahía Colombia (río Suriquí).

Analizando la información existente se concluyó que donde estaban presentes las *taxocenosis Mollusca-Annelida*, eran dominadas por especies *eurihalinas* (tolerantes de amplios rangos de salinidad); mientras que las *estenohalinas* (tolerantes a rangos más estrechos) se encontraban restringidas a las bocas de ríos (El Roto y Matuntugo en el río Atrato) y bahías (Marirrí, El Uno y Turbo) o ensenadas (Rionegro) que reciben los aportes más constantes de agua dulce.

Las *taxocenosis Mollusca y Annelida* presentaba un total de 29 y 5 especies, respectivamente asociadas a los manglares del golfo de Urabá. Entre los moluscos se presentaban 9 especies de bivalvos y 10 de gasterópodos, aunque existen registros indeterminados. El potencial de encontrar nuevos registros se estimaba alto si se expandía el muestreo a localidades con mayor salinidad, dado que hasta entonces se habían reportado 161 especies de moluscos dentro del Golfo (Villa, 2005), de las 1090 reportadas para todo el Caribe colombiano (Díaz et al., 1998). Además, la investigación en *sistemática malacológica* había estado centrada históricamente en la región de Santa Marta (Díaz et al., 1998). Contrariamente, el número de especies de anélidos poliquetos era cuestionable, dada la compleja taxonomía de éstos basada en características anatómicas que requieren disección y entrenamiento avanzado (M. Londoño-Mesa, comunicación personal). Por ejemplo, entre los 5 registros existentes, 4 eran indeterminados, dado que no existían claves para la región. Por esta razón, en otras localidades del Caribe muchas de las especies reportadas poseían nombres erróneos, y era frecuente el caso de cosmopolitismo (Londoño-Mesa et al., 2002).

Finalmente, el hecho de que muchos individuos se rompan o fragmenten durante la colección o la preservación en formol o por congelamiento (Londoño-Mesa, et al. 2002), da pie a que especies adicionales puedan haberse perdido. El número de familias encontradas (4) daba una aproximación más conservativa de la diversidad de este grupo. El potencial de encontrar nuevos registros y especies en la zona era, sin embargo, alto ya que para el

gran Caribe se habían reportado alrededor de 1240 especies (Londoño-Mesa, et al. 2002), y en las costas colombianas entre 94 (Dueñas, 1999) y 253 (Báez y Ardila, 2003). Estudios detallados en otras localidades del Caribe habían reportado números de especies significativamente mayores (e.g. 49 en San Andrés y Providencia, Londoño-Mesa et al., 2002; 24 en el Parque Tayrona, Álvarez-León y Laverde-Castillo, 2003).

Por otro lado, se evidenció durante la búsqueda bibliográfica a nivel nacional que no existía una colección o museo que albergara parcialmente la biota del Golfo, ni un programa de monitoreo a largo plazo, ni una línea de base similar a la existente en otras partes del Caribe colombiano (Parque Tayrona: Garzón-Ferreira, 1998, Ciénaga Grande de Santa Marta: Garay et al., 2004a), que permitiesen anticipar los impactos ambientales derivados de megaproyectos así como del cambio climático (particularmente los debidos al incremento del nivel del mar, el incremento de la frecuencia de actividad ciclónica y el aumento de la temperatura del mar). La mayor colección biológica del Caribe colombiano, que se encuentra en el *Museo de Historia Natural Marina de Colombia*, ubicada en el INVEMAR (Santa Marta), posee pocos registros del golfo de Urabá. Por otra parte, no ha habido una expedición biológica anterior dirigida al Golfo, aunque la expedición “*R/V Oregon II*” realizada por el *Instituto Smithsonian de Washington*, visitó en 1968 la parte norte del Golfo (Paul Callomon, Academia de Ciencias Naturales de Filadelfia, comunicación personal; INVEMAR, 2006). Previamente, durante el proyecto de “*Caracterización y Zonificación de los Manglares del Golfo de Urabá, Departamento de Antioquia*” (CORPOURABA, 2003), se realizaron algunos muestreos de fauna asociada a las raíces, pero éstos no fueron publicados y las muestras, aunque se encuentran disponibles, no se hallan catalogadas o sistematizadas y no tienen un curador a cargo.

Patrones biogeográficos preliminares

El análisis de la información existente permitió hacer una clasificación de las áreas estudiadas con base en la fauna (bio-geografía). La distribución espacial de la riqueza de familias, géneros y especies seguía el mismo patrón, principalmente porque cada una

de las dos primeras categorías estaba representada por una o pocas especies. En todos los niveles taxonómicos sobresalían las bahías el Uno y Turbo (en la costa oriental), y las bahías La Paila, Burrera y el norte de Marirríó (en el delta del Atrato), como las áreas de mayor riqueza. Surgían además dos patrones biogeográficos definidos. El primero era una disminución gradual de la riqueza en dirección norte-sur, desde el delta del río Turbo hasta Puerto César. El segundo era una pobreza en todas las localidades de menor salinidad como las bahías El Rotico, Candelaria y Cocogrande, en la parte norte del delta del río Atrato, la desembocadura del río Turbo y la ensenada de Rionegro. También sobresalía la ausencia de moluscos y poliquetos en bahía Colombia (río Suriquí) y en los relictos de manglar al sur de la ensenada de Rionegro.

Los patrones de riqueza de los moluscos y anélidos poliquetos sugerían un papel importante de los niveles de salinidad y, posiblemente, de su variabilidad temporal. Por ejemplo, las especies estenohalinas podrían enriquecer la biota eurihalina en las localidades donde la salinidad es menos variable a lo largo del año. Esto coincide con la ausencia de especies estenohalinas en la parte del delta del río Atrato al norte de la bahía Cocogrande, la cual presenta grandes variaciones a lo largo del año, dependiendo del caudal aportado por la boca El Roto y el brazo Matuntugo. El brazo Leoncito, por el contrario, aporta menos caudal pero de una manera más estable a lo largo del año, a las bahías La Paila, Burrera y Marirríó. Por su parte, la ausencia de moluscos y poliquetos en bahía Colombia no parecía claramente explicada por la salinidad, la cual es predominantemente alta la mayor parte del año (García-Valencia, 2007), pero podría reflejar la alta turbidez permanente. Esta es producto de la acumulación de sedimentos suspendidos, aportados por los ríos del sur del Golfo y que son arrastrados por la deriva litoral (INVEMAR-CORPOURABA, 2003; Bernal et al., 2005). Cabe resaltar que era prematuro discutir en profundidad las causas de los patrones arriba descritos, ya que los muestreos no fueron extensos en el tiempo en ningún lugar del Golfo, con excepción de las bahías Marirríó (Llano y Palacio, 1988), y Turbo y El Uno (García y Correa, 2006). Por tanto, los patrones arriba descritos podrían reflejar simplemente las desproporciones en la intensidad de muestreo o colecta.

La Expedición Estuarina, golfo de Urabá, fase 1

El objetivo de este estudio fue inventariar los macroinvertebrados (específicamente los moluscos y gusanos poliquetos), y las macroalgas asociados a las raíces sumergidas de los manglares del golfo de Urabá, y construir una base de datos con la descripción del marco forestal, sedimentario (incluyendo los foraminíferos), geomorfológico e hidrodinámico costero, mediante una expedición que cubriera la totalidad del Golfo como unidad biogeográfica (sub-área Urabá, comprendida entre boca Tarena y punta Caribaná), además de las áreas vecinas: el Caribe chocoano (sub-área Capurganá-Acandí, comprendida entre cabo Tiburón y playa Ceverá); y el Caribe antioqueño (sub-área Arboletes, entre punta Caribaná y quebrada Peñoncito, límite con el departamento de Córdoba). Estas tres áreas geográficas se encuentran dentro de la Ecorregión Darién, también definida como una unidad de manejo ambiental costero (UAC Darién: INVEMAR et al., 2007, 2008; García-Valencia, 2007). Para efectos de este libro y para lograr una mayor evocación por parte de la comunidad científica nacional, esta región se denominó Caribe sur, correspondiente a las costas de los departamentos de Chocó y Antioquia. Se espera que la información sintetizada en los siguientes capítulos sea no solo un aporte a las ciencias básicas de la zoología, botánica, ecología, geología y oceanografía costera, sino también una herramienta para la gestión y protección de los recursos marinos ante los posibles desarrollos de mega-proyectos de infraestructura, y para abordar las problemáticas ambientales actuales como la erosión y sedimentación costeras, la polución marina, la sobre-explotación forestal, el incremento del nivel del mar y los mares de leva.

Con el proyecto y la edición del presente libro, específicamente se pretendió:

1. Identificar, cuantificar y mapear las áreas de manglares de la totalidad del golfo de Urabá y el Caribe antioqueño, por medio de una cartografía de alta resolución (1:10.000).
2. Construir una base de datos con descripciones de las unidades geomorfológicas, sedimentología,

procesos oceanográficos costeros, unidades vegetales, estructura vegetal del manglar, y listados de especies de grupos específicos de macroinvertebrados (e.g. poliquetos y moluscos), y macroalgas asociadas a las raíces para algunas áreas dentro del Golfo, enfatizando en las aún no exploradas.

3. Describir los patrones estructurales y biogeográficos de las especies de manglares.
4. Describir los patrones biogeográficos de las especies y comunidades de macroinvertebrados asociados a las raíces de los manglares, con base en información primaria y secundaria.

Estos objetivos se cumplieron mediante la:

1. Clasificación de las unidades geomorfológicas y la vegetación asociada a 11 áreas geomorfológicas, previamente identificadas, a una escala de 1:10.000, por medio del análisis y la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales de alta resolución de la zona de estudio (2009). Con base en ello se elaboraron mapas preliminares y sobre éstos se seleccionaron las estaciones para el muestreo de campo.
2. Toma de muestras de sedimentos, medición de algunos procesos oceanográficos (principalmente oleaje), y muestreo de la estructura vegetal de los manglares en 11 áreas geomorfológicas dentro del Caribe sur (2009-2010).
3. Recolección de la biota asociada a las raíces en la extensión total del Caribe sur (2009-2010), particularmente en las áreas aún no muestreadas (e.g. Caribe chocoano y antioqueño).
4. Síntesis de la información de inventarios forestales, y listados de macroinvertebrados asociados a las raíces de los manglares, a partir de la literatura.

Los productos de la Expedición fueron:

1. Las bases de datos de cada componente temático (geomorfología, oleaje, estructura forestal del

manglar y vegetación asociada, foraminíferos, moluscos, poliquetos y algas), las cuales fueron analizadas en los capítulos (2–8) presentados a continuación, y cuyos datos en bruto se adjuntaron electrónicamente en una “*geodatabase*”.

2. Bases de datos de la fauna asociada a las raíces de los mangles en varias localidades del Caribe colombiano (capítulo 9), para identificar el carácter distintivo de los manglares del golfo de Urabá, particularmente los del delta del río Atrato.
3. La cartografía temática donde se definieron 5 sectores del Caribe sur con base en sus características geomorfológicas. Los temas incluidos en la cartografía fueron: geomorfología, vegetación, hidrología y ubicación de los sitios de muestreo biológico. La cartografía se acompañó de una descripción de todos los componentes para cada uno de los 5 sectores (capítulo 10). Se anexaron planchas y archivos electrónicos de la cartografía y se construyó un recorrido virtual por el Caribe sur.

Con estos productos se realizaron talleres con las comunidades e instituciones, para generar actitudes de valoración y respeto por el medio ambiente, a través de la educación ambiental y para contribuir al entendimiento de los problemas de sedimentación y erosión en el Golfo, y el papel que los manglares juegan en ellos. También se espera que las bases de datos y cartografía, distribuidas por los canales oficiales de la Gobernación de Antioquia, y mediante esta publicación, aporten información básica para apoyar los procesos de manejo integrado de la UAC Darién, y los planes de ordenamiento territorial

de los municipios con jurisdicción costera (Acandí, Unguía, Turbo, Necoclí, San Juan de Urabá y Arboletes); ya que la primera versión de este libro fue presentada como informe técnico final del proyecto a la Secretaría de Planeación Departamental de Antioquia en 2010 y ha sido socializada con las administraciones departamentales de dos periodos.

Ahora bien, se contribuyó a la inclusión y educación informal de los habitantes de las comunidades rurales, mediante la vinculación a las actividades de campo y talleres de construcción de la cartografía (toponimia y cartografía temática). Se espera que los mapas y publicaciones que se han entregado, y continúen entregando, a las comunidades, puedan incorporarse a los currículos y contribuyan a un mejor reconocimiento y empoderamiento de los territorios por parte de sus habitantes. Por lo demás, se apoyó la formación de estudiantes de la región vinculados al *Programa de Ecología de Zonas Costeras* de la Universidad de Antioquia-Seccional Turbo, al igual que la de estudiantes de varias carreras en la Universidad de Antioquia, la Universidad Nacional-Sede Medellín y la Universidad EAFIT.

A pesar de este gran esfuerzo, los investigadores de la Expedición reconocemos que la presente publicación aún deja muchos vacíos de información, que no pudieron ser cubiertos por la falta de personal calificado y limitaciones logísticas. Por ello se espera que los resultados aquí presentados y en otras publicaciones en el ámbito internacional (e.g. Blanco et al., 2011), lejos de mostrar un resultado final, estimulen más investigaciones y marquen el inicio de una nueva era de exploración científica y de desarrollo sustentable de la región.

REFERENCIAS

- Agudelo P, Restrepo AF, Molares R, Tejada CE, Torres R, Osorio AF. 2005. *Determinación del clima medio y extremal en el Caribe colombiano*. Boletín Científico CIOH, 23:33-45.
- Álvarez-León R, Laverde-Castillo JJA. 2003. *Poliquetos de la laguna sur de Chengue*. Archivos de Ciencias do Mar (LABOMAR), 36:129-136.
- Andrade CA, Barton ED, Mooers CN. 2003. *Evidence for an eastward flow along the Central and South American Caribbean Coast*. Journal of Geophysical Research, 108:3185-3196.
- Ardilla N, Navas GR, Reyes J (Eds.) 2002. *Libro rojo de invertebrados marinos de Colombia*. INVEMAR. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Ministerio de Medio Ambiente. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Báez DP, Ardilla N. 2003. *Poliquetos (Annelida: Polychaeta) del mar Caribe colombiano*. Biota Colombiana 4:89-109.
- Bernal G, Poveda G, Roldán P, Andrade C. 2006. *Patrones de variabilidad de las temperaturas superficiales del mar en la Costa Caribe Colombiana*. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias, 30:195-208.
- Bernal G, Toro M, Montoya-Jaramillo M, Garizábal-Carmona LJ, Ernesto C. 2005. *Estudio de la dispersión de sedimentos del río Atrato y sus impactos sobre la problemática ambiental costera del golfo de Urabá*. Gestión y Ambiente, 8:123-135.
- Blanco JF. 2009. *Banana crop expansion and increased river-borne sediment exports to the Gulf of Urabá, Caribbean Coast of Colombia*. Ambio 38:181-183.
- Blanco JF, Londoño-Mesa MH, Quan-Young L, Urrego-Giraldo L, Polanía J, Osorio AF, Bernal G, Correa I. 2011. *The Urabá Gulf Mangrove Expedition of Colombia*. ISME/GLOMIS Electronic Journal, 9:8-10.
- Cadavid, S. 2010. *Caída, descomposición y química de la hojarasca de Rhizophora mangle a lo largo de un gradiente hidrodinámico en la bahía Marirrí, golfo de Urabá*. Tesis de Pregrado. Instituto de Biología, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- Caicedo-Lara M, Ramírez-Serna LS, Sanjuan AM, Lecompte-Pérez OP, Cadavid LE. 1992. *Inventario sistemático y análisis cuantitativo de los invertebrados asociados a las raíces de mangle rojo (Rhizophora mangle) en la ciénaga de Cocoliso (PNNCR)*. En: Comisión Colombiana del Océano (CCO) (ed.). Memorias del VIII Seminario de Ciencias y Tecnologías del Mar, Santafé de Bogotá (Resumen).
- Cantera, JR, Blanco JF. 2001. *The estuary ecosystem of Buenaventura Bay, Colombia*. Pp: 265-280. En: Seeliger U, Kjerfve B (eds.). Coastal Marine Ecosystems of Latin America. Ecological Studies, vol. 144. Springer. Nueva York. Estados Unidos.
- Chevillot P, Molina A, Giraldo L, Molina C. 1993. *Estudio geológico e hidrológico del golfo de Urabá*. Boletín Científico CIOH 14:79-89.
- CORPOURABA (Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá). 2003. *Caracterización y zonificación de los manglares del golfo de Urabá-Departamento de Antioquia*. Proyecto Zonificación y ordenamiento de los manglares de Urabá. Convenio 201671 FONADE-CORPOURABA. Apartadó, Colombia.
- CORPOURABA. 2005. *Plan de manejo integral de los manglares del golfo de Urabá y mar Caribe antioqueño*. Documento técnico de soporte. CORPOURABA-Municipio de Turbo-Consejo Comunitario de Bocas del Atrato y Leoncito. Apartadó, Colombia. [Publicado como folleto en 2006].
- CORPOURABA. 2008. *Política para el manejo integral de la zona costera de Antioquia*. Acuerdo del Consejo Directivo, No. 100-02-02-01-013 de Diciembre 14 de 2007. Apartadó, Colombia.
- CORPOURABA-DAMA. 2007. *Plan de manejo del Distrito de Manejo Integrado (DMI) de la ensenada de Rionegro y las ciénagas La Marimonda y El Salado, municipio de Necoclí, departamento de Antioquia*. Bogotá, Colombia.

- CORPOURABA-DAMA-CORPORACIÓN MONTAÑAS. 2008. *Plan de manejo de la Reserva Forestal Protectora de los humedales entre los ríos León y Suriquí, municipio de Turbo, Departamento de Antioquia*. Convocatoria Pública No. 047 de 2007. Bogotá, Colombia.
- CORPOURABA-GOVERNACIÓN DE ANTIOQUIA-SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE. 2009. *Plan Operativo Anual Forestal "POAF", en la Zona de Uso Sostenible de los manglares del golfo de Urabá, municipio de Turbo, departamento de Antioquia*. Apartadó, Colombia.
- Correa ID. 2006. El litoral antioqueño. Pp. 137-149. En: Hermelin M (ed.). *Geografía de Antioquia*. Fondo Editorial Universidad EAFIT-ACCEF. Medellín, Colombia.
- Correa ID, Vernet G. 2004. *Introducción al problema de la erosión litoral en Urabá (sector Arboletes-Turbo) Costa Caribe colombiana*. Boletín de Investigaciones Costeras y Marinas, 33:7-28.
- Cosel R. 1973. *Lista preliminar de los moluscos de la Ciénaga Grande de Santa Marta (Colombia)*. Anales del Instituto Colombo Alemán de Investigaciones Científicas de Punta de Betín, 7:47-56.
- Díaz JM, Cantera JR, Puyana M. 1998. *Estado actual del conocimiento en sistemática de moluscos marinos recientes de Colombia*. Boletín Ecotrópica: Ecosistemas tropicales, 33:15-37.
- Dueñas PR. 1999. *Algunos poliquetos (Annelida) del Caribe colombiano*. Milenio, Revista de la Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad de Córdoba, Colombia, 1: 9-18.
- ECOFOR. 1990. *Evaluación general del manglar del golfo de Urabá. Informe Principal*. Contrato No.056/88. INDERENA Regional Antioquia. Medellín, Colombia.
- Garay J, Restrepo J, Casas O, Solano O, Newmark F. (eds.). 2004a. *Los manglares de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta: pasado, presente y futuro*. INVEMAR. Serie de publicaciones especiales No. 11. Santa Marta, Colombia.
- Garay J, Marín-Zambrana BG, Espinosa LF, Vivas LJ (eds.). 2004b. *Atlas de la calidad de las aguas marinas y costeras de Colombia*. Serie de documentos generales No. 17. INVEMAR. Santa Marta. Colombia.
- García JM, Correa JD. 2006. *Macroinvertebrados y peces asociados a las raíces sumergidas del mangle rojo (Rhizophora mangle) en las bahías Turbo y El Uno, Golfo de Urabá (Caribe colombiano)*. Tesis de Pregrado. Programa de Ecología de Zonas Costeras. Corporación Académica Ambiental, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia. [Publicado como: García, J.M. & J. Palacio. 2008. *Macroinvertebrados asociados a las raíces sumergidas del mangle rojo (Rhizophora mangle) en las bahías Turbo y El Uno, golfo de Urabá (Caribe Colombiano)*. Gestión y Ambiente, 11:55-66].
- 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 de INVEMAR N° 12. Santa Marta, Colombia.
- Garzón-Ferreira J. 1998. *Bahía del Chengue, Parque Natural Tayrona, Colombia*. Pp: 115-125. En: Kjerfve B (ed.). CARICOMP-Caribbean coral reef, seagrass and mangrove sites. Coastal region and small island papers 3, UNESCO. Paris. Francia.
- Hermelin M. (ed.). 2006. *Geografía de Antioquia*. Fondo Editorial Universidad EAFIT-ACCEF. Medellín, Colombia.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2006. Chocó. *Características geográficas*. Bogotá. Colombia.
- IGAC-INGEOMINAS (Instituto Nacional de Geología y Minas). 2005. *Investigación integral del Andén Pacífico colombiano*. 4 CDs. Bogotá, Colombia.
- IGAC-GOVERNACIÓN DE ANTIOQUIA-IDEA. 2007. *Antioquia. Características geográficas*. Bogotá. Colombia.
- INER (Instituto de Estudios Regionales). 2003. Urabá, *Desarrollo regional: una tarea común universidad-región. Dirección de Regionalización*. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- INVEMAR (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andreis"). 2006. *Informe*

- del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: Año 2005*. Serie de publicaciones periódicas No. 8. Santa Marta, Colombia.
- INVEMAR-CORPOURABÁ. 2003. *Diagnóstico, zonificación y definición de la estructura administrativa de manejo de la Unidad Ambiental Costera del Darién, Caribe Colombiano Fase I*. Caracterización y Diagnóstico. Informe Técnico Preliminar (Copia digital). Santa Marta, Colombia.
- INVEMAR-GOVERNACIÓN DE ANTIOQUIA-CORPOURABA-CODECHOCO. 2007. *Formulación de los lineamientos y estrategias de manejo integrado de la Unidad Ambiental Costera del Darién*. Zamora AP, López A, Sierra-Correa PC (eds.). Santa Marta, Colombia.
- INVEMAR-CORPOURABA-GOVERNACIÓN DE ANTIOQUIA-CODECHOCO. 2008. *Cartilla de lineamientos y estrategias para el manejo integrado de la Unidad Ambiental Costera del Darién (UAC-Darién)*. López A, Reyes SP, Sierra-Correa PC, Caicedo-Herrera D, Mona-Sanabria Y, Morales-Betancourt D (eds.). Serie de documentos generales No. 24. Santa Marta, Colombia.
- Keep-Correa F. 2000. *La monografía de Turbo*. Municipio de Turbo. Turbo, Colombia.
- Llano R, Palacio J. 1988. *Ecología de la fauna asociada a raíces de mangle Rhizophora mangle en la bahía de Marirrí, Urabá*. Tesis de Pregrado. Instituto de Biología, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. [Esta investigación reposa en la Biblioteca Central de la Universidad de Antioquia como tesis de grado del primer autor y como informe técnico del segundo].
- Londoño-Mesa MH, Polanía J, Vélez I. 2002. *Polychaetes of the mangrove-fouling community at the Colombian Archipelago of San Andrés and Old Providence, Western Caribbean*. Wetland Ecology and Management, 10:227-232.
- Leyton LM, Delgado F, Miranda D. 1992. *Fauna asociada a las raíces de manglar en el golfo de Morrosquillo*. En: Comisión Colombiana del Océano (CCO) (ed.). Memorias del VIII Seminario de Ciencias y Tecnologías del Mar, Santafé de Bogotá (Resumen).
- Marín-Zambrana BG. 2002. *Lagunas costeras y estuarios*. Pp: 183-206. En: INVEMAR. Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: 2001. Serie de documentos generales. Santa Marta, Colombia.
- Mejía LS, Acero A (eds.). 2002. *Libro rojo de los peces marinos de Colombia*. INVEMAR-INSTITUTO DE CIENCIAS NATURALES, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA-MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Serie de Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Ménanteau L. 2007. *Geohistoria del golfo*. En: García-Valencia C (ed.). Atlas del golfo de Urabá: una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó. INVEMAR-GOVERNACIÓN DE ANTIOQUIA. Serie de publicaciones especiales N° 12. Santa Marta, Colombia.
- Montoya LJ, Toro FM. 2006. *Calibración de un modelo hidrodinámico para el estudio de los patrones de circulación en el golfo de Urabá, Colombia*. Revista Avances en Recursos Hidráulicos, 13:37-54.
- Moreno, P.A. 2002. *Taxocenosis Annelida-Mollusca-Crustacea asociada a la raíces sumergidas de Rhizophora mangle en San Andrés Isla, Caribe Colombiano*. Tesis de Pregrado. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia.
- Ortiz-Royero JC, López-Martínez F, Díaz-Estrada E, Bacca-Arango LF. 2008. *Estudio del oleaje generado por el huracán Joan en la costa Caribe colombiana en 1988, incluyendo a la Isla Andrés*. Revista Colombiana de Física 40:444-446.
- Osorio AF, Montoya RD, Mesa JC, Bernal GR. 2009. *Reconstrucción de cuarenta años de datos de oleaje en el mar Caribe colombiano, empleando el modelo WWIII y diferentes fuentes de datos*. Boletín Científico CIOH 27:37-56.
- Palacio J. 1977. *Invertebrados del área estuárica de la Ciénaga Grande de Santa Marta con énfasis en la fauna acompañante de Crassostrea rhizophorae*. Tesis de Pregrado. Instituto de Biología, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- Palacio J. 1978. *Variación de la fauna de invertebrados del área estuárica de la Ciénaga Grande de Santa Marta en relación con los cambios de salinidad*. Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín 10:111-126.

- Palacio J. 1983. *Die benthische makroinvertebratenfauna der tropischen asturarregion Ciénaga Grande de Santa Marta (Kolumbien) und ihre aktivitat im wechsel zwischen trocken- und regenzeit*. Tesis de Doctorado en Recursos Naturales. Universidad de Bochum, Alemania.
- Perdomo C. 1973. *Contribución al conocimiento bioecológico de la ostra perlífera *Pinctada radiata* (Leach 1814) en la bahía de Santa Marta*. Tesis de Pregrado. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia.
- Pérez ME, Victoria CH. 1977. *Diversidad y macrofauna de la comunidad de las raíces sumergidas del mangle rojo en la bahía de Cartagena y la ciénaga de los Vásquez*. Tesis de Pregrado. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia.
- Pérez ME, Victoria CH. 1978. *Algunos aspectos de la comunidad asociada a las raíces sumergidas del mangle rojo en dos áreas del Caribe colombiano*. En: UNESCO-UNIVERSIDAD DEL VALLE (eds.). Memorias del seminario estudio científico e impacto humano en el ecosistema de manglares.
- Pritchard DW. 1967. *What is an estuary?: Physical viewpoint*. Pp: 3-5. En: Lauf GH (ed.). *Estuaries*. AAAS, Publicación No. 83. Washington D.C., Estados Unidos.
- Prüssman J. 2005. *Colonización de moluscos y crustáceos en raíces de mangle rojo en la laguna de La Boquilla, punta norte del golfo de Morrosquillo*. Tesis de Pregrado. Instituto de Biología, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. [Publicado como: Prüssman J, Palacio J. 2008. Colonización de moluscos y crustáceos en raíces de mangle rojo en una laguna costera de la punta norte del golfo de Morrosquillo. *Gestión y Ambiente*, 11:77-86].
- Quiceno, P. 2000. *Macroinvertebrados asociados a las raíces de *Rhizophora mangle* en la ciénaga de La Boquilla municipio de San Onofre, Sucre*. Tesis de Pregrado. Instituto de Biología, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. [Publicado como: Quiceno P, Palacio J. 2008. *Aporte al conocimiento de los macroinvertebrados asociados a las raíces del mangle *Rhizophora mangle* en la ciénaga La Boquilla, municipio de San Onofre, Sucre*. *Gestión y Ambiente*, 11:67-78].
- Ramírez LF et al. 2009. *Viabilidad de una red de áreas marinas protegidas, Caribe colombiano*. INVEMAR-SIRAP-CARSUCRE-CORPOGUAJIRA-UAESPNN. Santa Marta, Colombia.
- Restrepo J. 2002. *El estado de los manglares en Colombia*. Pp: 134-148. En: INVEMAR (ed.). Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: 2001. Serie de documentos generales. Santa Marta, Colombia.
- Restrepo JD. 2008. *Deltas de Colombia: morfodinámica y vulnerabilidad ante el cambio global*. Fondo Editorial Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.
- Restrepo JD, Kjerfve B. 2000. *Water discharge and sediment load from the western slopes of the Colombian Andes with focus on Rio San Juan*. *Journal of Geology*, 108:17-33.
- Reyes R, Campos N. 1992a. *Macroinvertebrados colonizadores de raíces de *Rhizophora mangle* en la bahía de Chengue, Caribe colombiano*. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín*, 21:101-116.
- Reyes R, Campos N. 1992b. *Moluscos, anélidos y crustáceos asociados a las raíces de *Rhizophora mangle* Linnaeus, en la región de Santa Marta, Caribe colombiano*. *Caldasia* 17:133-148.
- Rojas LJ, Palacio J. 2003. *Contribuciones al conocimiento de la fauna de macroinvertebrados asociados a las raíces del manglar en el golfo de Urabá*. Tesis de Pregrado. Instituto de Biología, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- Román-Valencia C. 1991. *Inventario preliminar acerca de la macrofauna asociada a las raíces del mangle en el golfo de Urabá, Caribe colombiano*. Informe final de actividades, contrato No. 0007. CORPOURABA, División de Recursos Hidrobiológicos (CIMUR). Apartadó, Colombia.
- Romero P. 2004. *Composición taxonómica y proceso sucesional de la fauna asociada a las raíces sumergidas de *Rhizophora mangle* de San Andrés Isla*. Tesis de Pregrado. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia. [Publicado como: Romero-Murillo P, Polanía J. 2008. *Sucesión temprana de la taxocenosis Mollusca-Annelida-Crustacea en raíces sumergidas de mangle rojo en San Andrés Isla, Caribe colombiano*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 43:63-74].

- Ruíz M, Bernal G. 2009. *Variabilidad estacional e interanual del viento en los datos del reanálisis NCEP/NCAR en la cuenca Colombia, mar Caribe*. Avances en Recursos Hidráulicos, 20:7-20.
- Ruíz M, Bernal G, Beier E, Osorio A. 2010. *La salinidad en la cuenca Colombia, mar Caribe*. Pp: 39-43. En: INVEMAR-ACIMAR (eds.). Libro de resúmenes extendidos XIV Seminario Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar (SENALMAR). Serie de publicaciones especiales No. 21. Santa Marta, Colombia.
- Ruíz M, Beier E, Bernal G, Barton ED. 2012. *Sea surface temperature variability in the Colombian Basin, Caribbean Sea*. Deep-Sea Research I, 64:43-53.
- Sánchez PH, Álvarez-León R, Pinto NF, Sánchez AA, Pino RJ, García HI, Acosta PM. 1997. *Diagnóstico y zonificación preliminar de los manglares del Caribe de Colombia*. Ministerio de Medio Ambiente-Organización Internacional de Maderas Tropicales-Asociación Colombia de Reforestadores. Bogotá, Colombia.
- Sánchez-Alfárez AS, Álvarez-León R, Godoy-Bueno S, López C, Pinzón-Florián OP. 2009. *Aspectos fitosanitarios de los manglares del Urabá Antioqueño, Caribe colombiano*. Pan-American Journal of Aquatic Sciences, 4:339- 346.
- Sánchez-Valencia CI. 1998. *Descripción y zonificación del manglar del golfo de Urabá*. Convenio marco CORPOURABA-Municipio de Necoclí. Necoclí, Colombia.
- Thomas YF, García-Valencia C, Cesaraccio M, Rojas X. 2007. *El paisaje en el golfo*. En: García-Valencia C. (ed.). Atlas del golfo de Urabá: una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó. INVEMAR-GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA. Serie de publicaciones especiales No. 12. Santa Marta, Colombia.
- Uribe-Pérez J, Urrego LE. 2009. *Gestión ambiental de los ecosistemas de manglar*. Una aproximación al caso colombiano. Gestión y Ambiente, 12:57-72.
- Vilardy S, Polanía J. 2002. *Mollusk fauna of the mangrove root-fouling community at the Colombian Archipelago of San Andrés and Old Providence*. Wetland Ecology and Management, 10:273-282.
- Villa N. 2005. *Conocimiento actual de la biota marina del golfo de Urabá, Antioquia, Colombia*. Tesis de Pregrado. Programa de Ecología de Zonas Costeras. Corporación Académica Ambiental. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

NOTA: Durante la finalización de la edición del presente libro se publicó la siguiente síntesis que abarca el periodo 2005-2013: Quiceno PA, Zapata JL, Sánchez A. 2015. Estado del arte de la investigación en ecología de zonas costeras de la región de Urabá. Herramienta para la participación y apropiación del conocimiento por parte de la comunidad. Vicerrectoría de Extensión, Dirección de Regionalización, Corporación Académica Ambiental.





CAPÍTULO 2

Geomorfología del contorno litoral
Urabá-Darién, departamentos de
Antioquia y Chocó, Caribe colombiano



Geomorfología del contorno litoral Urabá-Darién, departamentos de Antioquia y Chocó, Caribe colombiano

Iván Darío Correa Arango^{1,2}, Johanna Prüssmann Uribe^{1,3} y Astrid Eugenia Garrido Escobar^{1,4}

¹Área de Ciencias del Mar, Departamento de Geología, Facultad de Ingenierías,
Universidad EAFIT, Sede Medellín. Antioquia, Colombia. A.A. 3300.

²icorrea@eafit.edu.co; ³jprussmann@eafit.edu.co; ⁴astridgarrido@yahoo.com.ar.

Resumen: Con el fin de generar información básica para el manejo integrado del litoral, se elaboró una base de datos geo-espacial (Geodatabase ESRI) con la cartografía geomorfológica (escala 1:5.000) de los 600 km del contorno costero Urabá antioqueño-Darién chocoano, entre Arboletes y cabo Tiburón, denominado Caribe sur para efectos de este libro. La geomorfología del área es variada en extremo y refleja tanto los fuertes contrastes geológicos (litologías, estructuras) entre el Darién, el golfo de Urabá y la llanura costera Caribe, como los efectos de los procesos naturales y antrópicos que han controlado su evolución durante los últimos 5.000-6.000 años. Con base en los atributos físicos de las geoformas cartografiadas (topografía/relieve, extensión, materiales, ubicación con respecto al nivel del mar actual), se definieron dos tipos básicos de contorno costero, a saber: a) el relieve costero, y b) las planicies fluvio-marinas. La zona de transición entre estos dos tipos básicos de contornos costeros y los fondos de la plataforma marina adyacente se delimitó y denominó como la *Zona intermareal*. Los relieves costeros del Urabá-Darién reflejan procesos activos de levantamiento geológico a tasas estimadas del orden de mm/año. Están conformados por colinas, valles aluviales, terrazas marinas (emergidas y sumergidas), islotes, peñascos rocosos, escarpes y canales submarinos. En la zona costera de Antioquia (Arboletes-golfo de Urabá) se presentan numerosas ocurrencias de diapirismo y vulcanismo de lodos, en varios sitios con antecedentes de erupciones violentas. Estos fenómenos representan amenazas geológicas de primer orden, al menos en algunos sectores. Las planicies fluvio-marinas del Urabá-Darién reflejan en el mediano plazo (miles de años) el relleno de

depresiones con materiales provenientes de la erosión de los relieves del Darién y de la llanura costera Caribe. Están conformadas (en dirección tierra-mar) por planos aluviales extensos disectados por canales fluviales (activos e inactivos), diques naturales y pantanos de agua dulce. Cerca al mar, las geoformas fluviales coexisten con geoformas de origen mixto, principalmente conjuntos de cordones de playa formados durante los últimos cientos de años. Las geoformas típicas de la zona intermareal son las playas actuales (constituidas por arenas y/o gravas), los planos intermareales no vegetados y los planos intermareales vegetados. Estos últimos constituyen el substrato de los manglares y son típicos de los ambientes protegidos y/o con aportes altos de lodos ubicados al interior del Golfo (ensenada de Rionegro y deltas de los ríos Atrato, Caimán Viejo, Caimán Nuevo, Turbo y Currulao). A lo largo del litoral punta Caribaná-Arboletes la erosión marina ha destruido las principales áreas de manglares, y hoy sólo se preservan áreas menores en las desembocaduras de los ríos Mulatos, Zapata, Damaquiel, San Juan, Hobo y Arboletes. La superficie actual de manglares en el litoral antioqueño (Golfo y sector punta Caribaná-Arboletes) totaliza 65,44 km². Debido a las pérdidas históricas de terrenos por erosión y a los drenajes y rellenos artificiales de numerosas zonas intermareales (principalmente en el costado este del Golfo y en el sector de Damaquiel), esta cifra es probablemente mucho menor que las correspondientes a periodos previos a la ocupación intensiva de la zona. Los ecosistemas arrecifales, exclusivos del norte del Darién chocoano, están representados por pequeños parches coralinos que están siendo afectados por aumentos en las

descargas de sedimentos y por contaminantes provenientes de los ríos Acandí y Tolo, y demás drenajes menores de las colinas del Darién. La franja litoral Urabá antioqueño-Darién chocoano es en su mayor longitud morfológicamente inestable, con signos evidentes de deterioro ambiental y altamente vulnerable a los efectos del cambio climático global.

Abstract: In order to generate basic information useful for coastal and littoral management, a geospatial database (ESRI Geodatabase) was implemented, containing the geomorphologic cartography (scale 1:5.000) of the 600 km-long coastal contour of the Urabá-Darién area, between the city of Arboletes and Cape Tiburón, a region called Southern Caribbean for the purpose of the present book. The geomorphology of the study area is extremely varied, reflecting both the strong geologic and physiographic contrasts between the Darién region, the Gulf of Urabá and the Caribbean coastal plain, as well as the natural and human-induced processes that have controlled its evolution during the last 5.000-6.000 years. Based on physical attributes of the identified landforms (topography/relief, areal extent, sediments and position with respect to present sea-level) two main types of coastal contours were defined in this study: coastal relief and fluvio-marine plains. The transitional domain between these two and the continental platform was named as the *Intertidal Zone*. The coastal reliefs of the Urabá-Darién's littoral reflect probably active processes of coastal uplift at estimated rates of the order of mm/yr. They are characterized by hills, alluvial valleys, marine terraces (emerged and submerged), small islands, stacks, and submarine scarps and channels; furthermore, both on the emerged littoral and on the continental shelf of Antioquia, the occurrence of several diapiric domes and mud volcanoes with a history of explosive eruptions, represents a first-order geological risk at least for some localized sectors of this coastal segment. fluvio-marine plains

of the Urabá-Darién zone area reflect in the mid-term (thousands of years) the infilling of a basin area with materials eroded from the Darién and Caribbean coastal plains reliefs. The present littoral contours of these areas are conformed seaward by wide fluvial plains cut by fluvial channels (active and inactive), natural levees and fresh-water swamps. Near the sea, fluvial landforms coexist with mixed landforms in origin, mainly with sets of ancient beach ridges formed during the last centuries. Typical landforms of the Intertidal zone are the presently active beaches (made up of sandy and/or cobbled materials) and the vegetated and non-vegetated muddy tidal flats. The former are the substrate for mangrove ecosystems found on protected environments and/or with high mud sedimentation of the Urabá Gulf (Ensenada de Rionegro and deltas of the rivers Atrato, Caiman Viejo, Caiman Nuevo, Turbo, Currulao, and bay of Turbo included). Alongshore the littoral punta Caribaná-Arboletes zone, rapid shore erosion has destroyed the main mangrove occurrences, thus only minor areas are currently preserved at the mouths of the Mulatos, Zapata, Damaquiel, San Juan and Hobo rivers. Current areas of the intertidal flats colonized by mangroves in Antioquia's littoral totalize 65,44 km². Considering that shore erosion and drainage/artificial replenishment has eliminated extensive intertidal areas (mostly along the east side of the Urabá Gulf and in the zone of Damaquiel), this figure must be well lower than the corresponding ones for the pre-intensive occupation times of the area. Concerning the reef ecosystems (exclusive of northern Darién), the small contemporary patches identified are currently affected by sediment discharges and contaminated materials, coming from the adjacent reliefs, the Acandí and Tolo Rivers. The littoral zone of Antioquia must be considered as a morphologically unstable zone, highly deteriorated by human interventions and highly vulnerable to the impacts of global climate change.

INTRODUCCIÓN

La *Geomorfología* (*geo*: tierra; *morphos*: formas; *logos*: tratado) estudia los atributos físicos (topografía, dimensiones, materiales) y la evolución temporal y espacial de los rasgos de la superficie del planeta, denominados técnicamente *geoformas* (Bird, 2008; Gutiérrez, 2008). En geomorfología el término *franja litoral* se usa frecuentemente para denotar las áreas de la *zona costera* donde se encuentran directamente la tierra y el mar, y por tanto sujetas a múltiples interacciones entre procesos geológicos, climáticos y oceanográficos. Estos procesos e interacciones actúan en todas las escalas del tiempo, desde segundos hasta milenios y millones de años (figura 2.1).

Tanto en sentido tierra-mar como a lo largo de los bordes costeros, la extensión de los muchos tipos posibles de franjas litorales es muy variable: desde unos pocos cientos de metros hasta decenas de kilómetros. Depende básicamente de la topografía y pendientes del terreno, de la resistencia de las rocas y de los tipos de estructuras geológicas y diferencias de altura entre los niveles del mar durante los periodos de mareas altas y bajas. Este

parámetro es fundamental y se conoce como los *rangos de mareas*, que en el planeta varían desde unos pocos centímetros hasta unos 19 m. En la Costa Pacífica los rangos de mareas varían entre 3,5–5 m, y en el Urabá-Darién (y Caribe colombiano) entre 0,2–0,5 m aproximadamente. Obviamente, mientras más importantes sean los rangos de marea, mayor será la amplitud de las franjas litorales, sobre todo en las áreas costeras con pendientes bajas.

Sin embargo, independientemente de su extensión, las franjas litorales son por lo general zonas vulnerables, tanto por su inestabilidad natural como por las consecuencias de su desarrollo acelerado durante los dos últimos siglos. De hecho, las numerosas intervenciones humanas sobre ellas (asentamientos, carreteras, puertos, represas, canales, industria, minería, extracción de petróleo, gas y agua, acuicultura, turismo, etc.) han modificado sustancialmente los procesos naturales y son actualmente, sobre todo en las costas desarrolladas, los determinantes principales de su evolución física y biológica (Carter, 1991; Viles y Spencer, 1995; Bird, 2008).

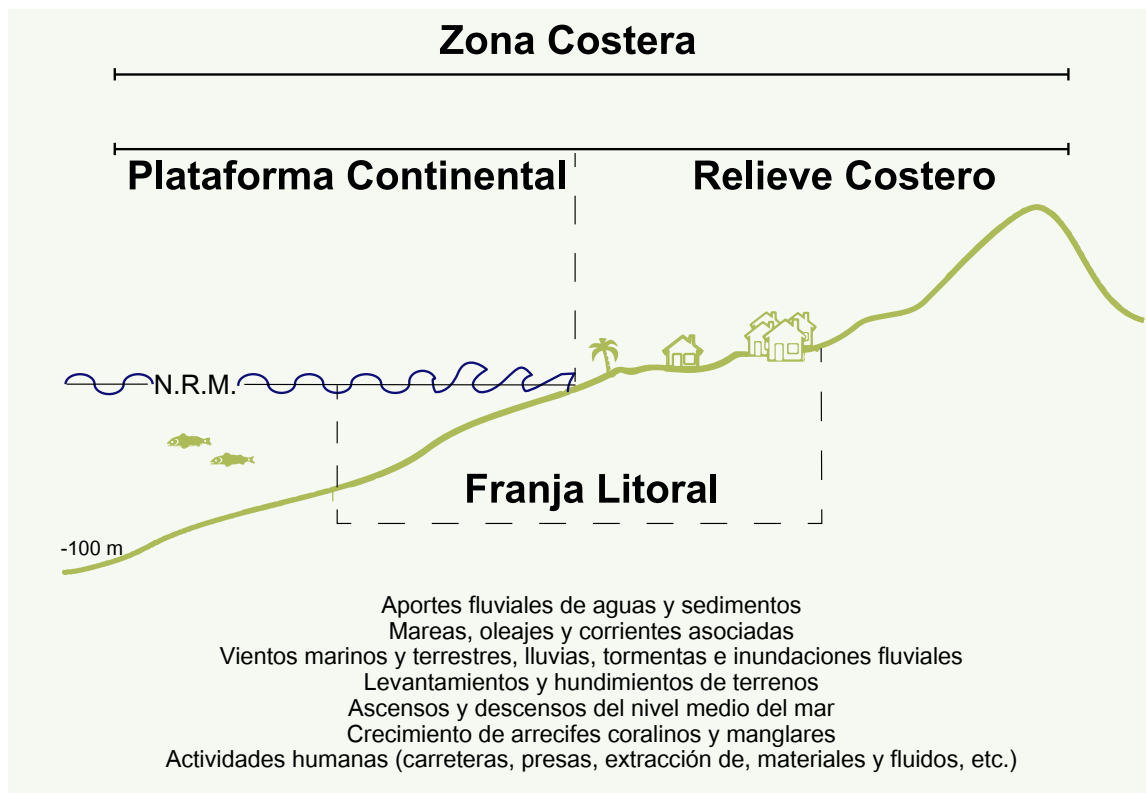


Figura 2.1. Esquema de los factores que intervienen en la evolución de las geoformas de la franja litoral. Modificado de Correa (2006).

Las múltiples interacciones entre procesos físicos y biológicos en las franjas litorales favorecen, además de su inestabilidad natural, la presencia de numerosas geoformas diferentes. En las zonas tropicales son comunes las dunas, playas y planos intermareales, las ciénagas y pantanos salobres, las barras sumergidas y demás tipos de relieves submarinos, los acantilados, etc. Estas geoformas son frecuentemente el substrato de ecosistemas de alta productividad biológica (ecosistemas estratégicos) como los manglares, los arrecifes coralinos, los pastos marinos y la fauna-flora de los litorales rocosos. Los atributos (formas, extensión areal, distribución de las especies, etc.) y la conservación de estos ecosistemas, dependen de muchos factores, incluyendo la velocidad de los cambios del nivel del mar, de los espacios disponibles para adaptarse a los cambios, de la ausencia o disponibilidad de sedimentos, la físico-química de las aguas y las velocidades de las corrientes marinas (Viles y Spencer, 1995; Woodroffe, 1992). Aquí cabe recordar que hace tan sólo 18.000 años, durante el último máximo glacial, el nivel del mar estaba aproximadamente 100 m por debajo de su nivel actual, y los litorales de entonces se ubicaron sobre áreas que hoy constituyen el denominado *talud continental*, muchos kilómetros mar adentro de su posición actual (Bird 1993).

Obviamente, los mejores ejemplos históricos y presentes de cambios extremos en las morfologías y ecosistemas litorales se encuentran en las zonas de alta actividad sísmica del cinturón *circum pacífico* (impactadas por maremotos), y también en las áreas afectadas por huracanes o tifones, como el golfo de México y el océano Índico (Keller y Blodgett, 2004; Bird, 2008).

El Urabá-Darién, la porción más sureña del Caribe colombiano, es una región privilegiada por sus paisajes y riquezas naturales, considerada a nivel mundial como una de las áreas con mayores posibilidades de desarrollo socioeconómico. En sus variados tipos de litorales se encuentran prácticamente todos los ecosistemas mencionados y,

desafortunadamente, muchos ejemplos de deterioro ambiental rápido, relacionado con la contaminación química, las talas de la vegetación, los usos inadecuados del suelo, los dragados, etc. (Caballero, 1991; Rincón, 1994; Martínez y Robertson, 1997; IDEAM, 2001a,b; INVEMAR, 2003). Mirando hacia el futuro, las consecuencias previstas del *cambio climático global* añaden una nueva dimensión a la problemática ambiental del área. Con un nivel del mar ascendiendo gradualmente (hasta alcanzar los 0,6–1 m en 2100), es lógico esperar cambios físicos y biológicos de primer orden relacionados con la intensificación de la erosión litoral, el aumento en la extensión y recurrencia de las inundaciones y la salinización de terrenos bajos, entre muchos otros impactos previsibles (IDEAM, 2001a, b; INVEMAR, 2003; Correa y Morton, 2006; IPCC, 2007). La evaluación de las consecuencias de estas amenazas es necesaria para la gestión adecuada del desarrollo costero y debe basarse en el conocimiento más integral y actualizado posible del medio ambiente.

Dados estos antecedentes, el proyecto *Expedición Estuarina-golfo de Urabá* planteó como objetivo principal "La consecución y divulgación de información de base para apoyar los procesos de manejo integrado de la zona costera de la región de Urabá y los planes de ordenamiento de los municipios con jurisdicción en el Golfo". Este segundo capítulo sintetiza los principales aspectos geomorfológicos de los diversos tipos de litoral, ubicados sobre los 600 km del contorno costero Urabá-Darién, entre el sector de Arboletes (límite departamental entre Antioquia y Córdoba) y el cabo Tiburón, punto fronterizo con Panamá (figura 2.2). Dada su importancia como ecosistema estratégico, se prestó atención especial a los aspectos relacionados con la ubicación, extensión y distribución actual de las áreas cubiertas por los pantanos de manglares, denominados geomorfológicamente como *planos intermareales vegetados*. Se presentan también varios resultados obtenidos en otros proyectos sobre las características físicas de los fondos y subfondos del Golfo, otro de los aspectos necesarios para conocer integralmente el área y prever sus futuras evoluciones. (Ver agradecimientos).

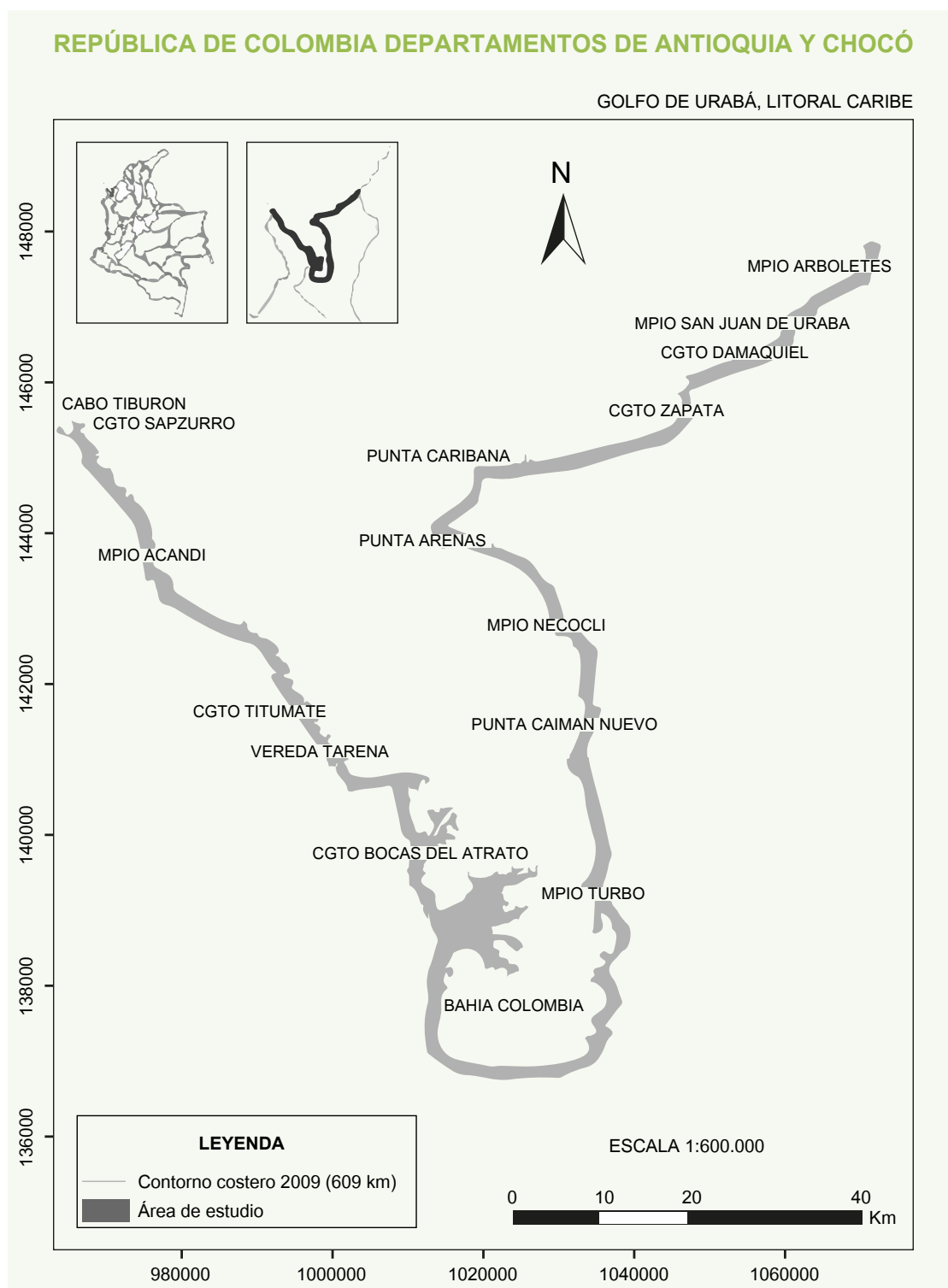


Figura 2.2. Área de estudio. El subrayado corresponde a los contornos de la franja litoral cartografiados por el proyecto Expedición Estuarina - golfo de Urabá

ANTECEDENTES

Las características fisiográficas del Urabá-Darién son muy variadas y reflejan en primera instancia su ubicación sobre tres zonas costeras con marcos geológicos muy diferentes (figura 2.3, [Anexo 2.1: plancha 1](#)).

En el centro de la región (Planicie fluvio-marina y golfo de Urabá), el área ocupada por el Golfo y por las planicies bajas de los ríos Atrato, Suriquí,

León y Turbo, corresponde a la superficie actual de una profunda cuenca de sedimentación, conocida geológicamente como el *Geosinclinal de Bolívar* (Nygren, 1950; Duque-Caro, 1980). Esta cuenca contiene más de cinco km de espesor de rocas del Terciario y de sedimentos del Cuaternario, y se extiende longitudinalmente por toda la costa Pacífica colombiana hasta el norte de Ecuador.

Su extremo norte coincide con el área del Golfo y la planicie fluvio-marina actual, ambos sectores probablemente en subsidencia (hundiéndose lentamente) debido al enorme peso que genera tal acumulación de rocas y sedimentos.

En los costados occidental y noroccidental del Golfo, los relieves de colinas del Darién alcanzan alturas máximas del orden de los 300 m y están compuestos principalmente por intercalaciones de rocas volcánicas y sedimentarias que se formaron durante

las eras Cretácea y Terciaria ([Anexo 2.1: plancha 1](#)). Estos relieves evidencian el levantamiento paulatino del llamado *Istmo de Panamá*, una nueva cordillera cuya formación dio origen al Istmo Centroamericano y separó completamente los océanos Atlántico y Pacífico, hace unos 3,5 millones de años (muy poco en la escala del tiempo geológico). La separación de ambos océanos dio lugar a hechos tan importantes como el cambio en la circulación general de las corrientes oceánicas del planeta (Duque-Caro, 1990a, b; de Porta, 2003).

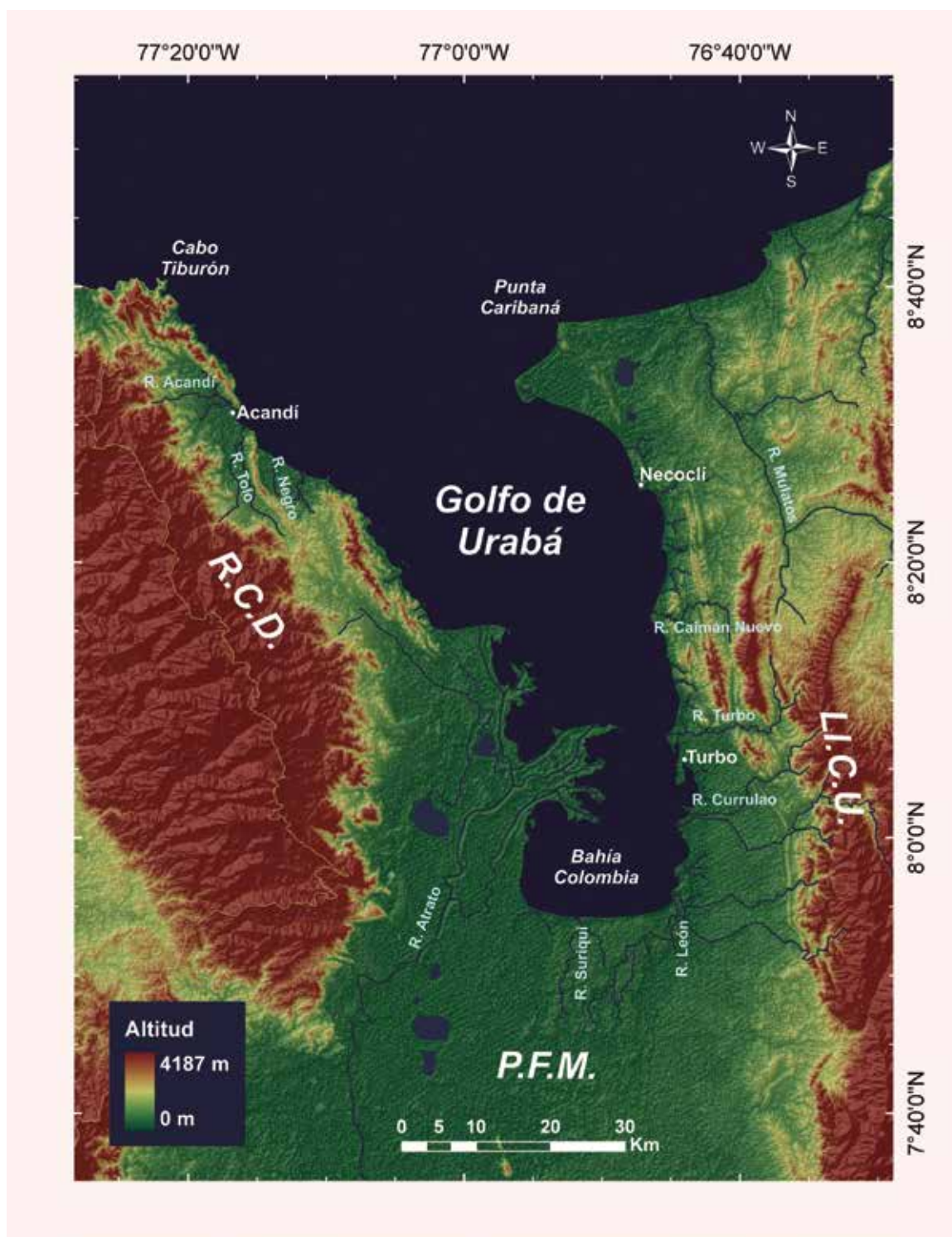


Figura 2.3. Contexto fisiográfico general de la costa de Urabá y Darién. Fuente: Modelo de Elevación Digital con resolución espacial de 30 m (USGS, 2004).

Al este y noreste del Golfo, las colinas de la llanura costera del Urabá corresponden a los relieves meridionales de la llanura costera del Caribe. Estas colinas alcanzan alturas de 200 m y están constituidas por rocas sedimentarias del Terciario, formadas en ambientes marinos y litorales, y "soldadas" gradualmente al continente por los esfuerzos tectónicos entre las placas Caribe y Suramericana (Duque-Caro, 1984, 1990a, b; IGAC-INGEOMINAS, 2005) (**Anexo 2.1: plancha 1**). En la formación de los paisajes de la llanura costera del Urabá han tenido que ver mucho también los levantamientos y hundimientos de terrenos, producidos por el fenómeno conocido como *diapirismo de lodos*, común en la parte sur del Caribe colombiano y en muchas otras zonas del mundo, incluyendo las Guayanas, el Mediterráneo, el delta del río Mississippi, Trinidad y Rumania (Higgins y Sanders, 1967; Milkov, 2000; Feyzullayev, 2003).

El *diapirismo de lodos* (*mud diapirism*) ocurre en secuencias de rocas sedimentarias antiguas, y también en los deltas modernos donde se depositan rápidamente grandes cantidades de sedimentos. En términos generales, consiste en el ascenso gradual de volúmenes (diapiros) de lodos ricos en agua y gases inflamables como el metano, butano, etano, propano y sulfuros de hidrógeno, entre otros (Higgins y Sanders, 1967; Vernet, 1985). Los diapiros "aprovechan" las zonas de fallas y fracturas geológicas para atravesar las rocas confinantes y alcanzar niveles superiores de la corteza, en muchas ocasiones hasta la superficie. Su ascenso se posibilita porque sus densidades son menores que las de las rocas confinantes, y porque son a la vez comprimidos e impulsados por los esfuerzos tectónicos, en nuestro caso entre las placas Caribe y Suramericana. (Duque-Caro, 1984; 1990a, b; Vernet, 1985; Page, 1986; Vernet et al. 1992). Las presiones hacia el exterior ejercidas por los diapiros durante su ascenso son muchas veces suficientes para deformar las rocas suprayacentes y crear nuevos relieves, típicamente colinas más o menos redondeadas (domos diapíricos) de dimensiones variables entre los metros y los cientos de metros. Cuando los lodos logran salir a la superficie, se acumulan y generan geofomas como los volcanes y las coladas de lodo cuyas dimensiones, también muy variables,

dependen de factores como la viscosidad, la forma y extensión de las grietas superficiales y los volúmenes de materiales expulsados (Carvajal, 2001; IGAC-INGEOMINAS, 2005). En algunos casos, la expulsión de lodos en superficie es acompañada por explosiones violentas y por la formación de coladas de lodo que pueden cubrir áreas kilométricas. Estas circunstancias se han presentado varias veces en el Urabá antioqueño, y el ejemplo mejor reportado es la violenta explosión del volcán de lodos "Cacahual" en San Pedro de Urabá, inmediatamente después del terremoto del 18 de octubre de 1992. Este evento ocasionó siete víctimas fatales, más de 20 heridos y derramó 50.000 m³ de materiales sobre los terrenos agrícolas y ganaderos circundantes (Martínez et al., 1994).

Brevemente, la región Urabá-Darién podría caracterizarse también por circunstancias como:

- A. Estar bajo la influencia de la *Zona de Convergencia Intertropical (ZCI)*, cuyos desplazamientos controlan la ocurrencia de los periodos secos y lluviosos. El área presenta temperaturas medias diarias (en el sector del Golfo) entre 26–28°C, y precipitaciones medias entre los 2.500 y 3.000 mm anuales (IDEAM, 2005; Thomas et al., 2007). Como en todas las zonas tropicales del planeta, estas condiciones favorecen la alteración química rápida de las rocas y sedimentos costeros, facilitada por las altas velocidades de las reacciones químicas, la intensa actividad microbiológica en los suelos y la formación de ácidos orgánicos (Summerfield, 1991).
- B. Ser una región con una fuerte dinámica natural, reflejada por la erosión intensa de las colinas y suelos costeros, y por cambios geomorfológicos drásticos, tanto en las zonas litorales emergidas como en las profundidades del Golfo (CORPOURABÁ-UNIVERSIDAD NACIONAL, 1998; INVEMAR-CORPOURABA, 2003; Bernal et al., 2005a, b; Correa y Morton, 2006, 2010). Por décadas, los efectos acumulativos de estos cambios han resultado en la desaparición total o parcial de segmentos importantes de playas en zonas como Arboletes (Holguín, 1996; González y Guarín, 2003; Correa y Vernet, 2004), Turbo-Necolí (Aristizábal et al.,

1990, Franco y Gómez, 1996; Velásquez y Rave, 1996; Correa y Vernet, 2004), y a lo largo del litoral del delta del río Atrato y áreas adyacentes (Velásquez y Rave, 1996; Ménanteau, 2007; Thomas et al., 2007). Las alturas significativas de los oleajes que inciden y/o se generan en el Golfo han sido estimadas entre 0,5–1,5 m, suficientes para que las olas y corrientes asociadas remuevan y transporten volúmenes importantes de sedimentos a lo largo del litoral (ver capítulo 3).

C. Estar sujeta, ya desde mediados del siglo XX, a numerosas intervenciones antrópicas desordenadas (desvío de canales, relleno y talas de áreas de manglares, estructuras de defensa, etc.), que han deteriorado en varios sectores sus ecosistemas y generado problemas como la intrusión salina de acuíferos y de suelos destinados para la agricultura. Como resultado directo de estas intervenciones se ha disminuido significativamente la calidad de vida de los habitantes (Muñoz et al., 1997; UNIVERSIDAD NACIONAL, 2006; INVEMAR et al., 2008).

D. Ubicarse en una zona de amenaza sísmica desde alta (Darién) hasta intermedia (llanura costera Caribe, al norte y noreste de Turbo (ASOCIACIÓN DE INGENIERÍA SÍSMICA, 1988; INGEOMINAS, 1998). Aunque el conocimiento sismológico del área es aún incompleto, los efectos del terremoto del Atrato medio durante los días 17 y 18 de octubre de 1992 ilustraron los numerosos peligros a los que está sometida la región. Estos sismos (con epicentros cercanos a los límites de Antioquia y Chocó y magnitudes MS entre 6,7 y 7,3) provocaron numerosos deslizamientos, taponamientos de caños, agrietamientos y fenómenos de licuación de suelos en el Darién chocoano y en el Urabá antioqueño. Ocasionaron, además, la erupción ya mencionada del volcán de lodos Cacahual y la probable erupción del volcán de lodos de Damaquiel. Los daños asociados a estos dos eventos se catalogaron como *desastre ambiental*, y sus costos fueron estimados en aproximadamente 100 millones de dólares (Martínez et al., 1994).

MÉTODOS

Los ejemplos que se ilustran a continuación provienen de la Cartografía *Expedición Estuarina-golfo de Urabá: Fase 1*, cuya componente geomorfológica fue asignada al Área de Ciencias del Mar de la Universidad EAFIT. Esta cartografía se basó en la elaboración de una base de datos espaciales conforme al modelo *Geodatabase* de ESRI. La digitalización de la información se realizó por medio del software *ArcGis 9,3*. La base de datos contiene, en elementos cartográficos y de atributos, la cartografía base (hidrografía, áreas catastrales, transporte fluvial y marítimo y toponimia), y las geoformas y unidades geomorfológicas de la zona de estudio (Relieve costero, Planicies Fluvio-marinas y Zonas intermareales). Todos estos parámetros se organizaron según los criterios y las categorías del Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC, utilizando el *Catálogo de Objetos Geográficos IGAC* (versión 1,3/2005) para ubicar jerárquicamente los temas geográficos, de nomenclatura y la codificación. El sistema geográfico de coordenadas utilizado fue: Datum: MAGNA Colombia Oeste;

proyección Transverse Mercator (False Easting: 10000000.000000, False Northing: 1000000.000000; Central Meridian: 77,077508, Scale Factor: 1000000, Latitude of Origin: 4,596200).

Para la identificación y delimitación de las geoformas litorales se utilizaron los siguientes insumos ([Anexo 2.1: plancha 1](#)):

1. Un mosaico ortorectificado, a escala 1:5.000, elaborado con aerofotografías a color tomadas por la firma Aeroestudios S.A. durante el año 2009. De acuerdo con las normas y especificaciones del IGAC, las fajas de aerofotografías se tomaron con recubrimientos longitudinales del 60% y laterales del 30%, con variaciones máximas del 10%. Este mosaico es el producto aerofotográfico más actualizado y de mayor precisión disponible a la fecha (mayo 2016), y ofrece la “línea base” para estudios detallados sobre el estado actual y la evolución temporal de las geoformas y ecosistemas del área de estudio.

2. Un mosaico ortorectificado elaborado con base en aerofotografías pancromáticas IGAC, tomadas en 1938 y con cobertura desde punta Caribaná hasta el sector suroeste de bahía Colombia.
3. Materiales varios de sensores remotos, incluyendo: a) impresiones blanco y negro de Imágenes de Radar IGAC-INTERA (STAR-1), tomadas en 1992 y varias aerofotografías IGAC blanco y negro (escalas entre 1:30.000 y 1:50.000) de diferentes fechas del periodo 1950–1990.
4. Materiales cartográficos e información de publicaciones varias, incluyendo: a) 58 Esquemas Geomorfológicos para el sector Turbo-Arboletes, a escala 1:10.000, publicados por la Universidad EAFIT-COLCIENCIAS (2001) como resultados del proyecto *Erosión Litoral en Antioquia*; b) la Carta de Navegación DIMAR No 412: golfo de Urabá, escala 1:1.000.000.
5. Un conjunto de perfiles batimétricos de alta resolución (*mud penetrator*) de los fondos y subfondos del Golfo, realizados durante el año 2009 por el proyecto Erosión Costera en Antioquia -Colciencias-Universidades EAFIT-, de Antioquia y Nacional. Los perfiles se obtuvieron con un ecosonda Knudsen® 320 B/P, con transductor dual de 12 y 200 kHz.

Las interpretaciones geomorfológicas a partir de los materiales de sensores remotos disponibles fueron constatadas y complementadas parcialmente con una salida de campo de 15 días realizada durante el mes de abril de 2010.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La geomorfología del contorno costero Urabá-Darién es muy variada y refleja en primera instancia los contrastes geológicos y fisiográficos ya anotados entre los sectores del Darién, el Golfo propiamente dicho, y los relieves de la llanura costera de Urabá (figura 2.4). Se caracteriza actualmente por un “mosaico” de geoformas diferentes originadas durante los últimos 5.000–6.000 años, desde el “momento” en que el mar alcanzó un nivel aproximado al actual.

Con base en sus principales similitudes y diferencias en cuanto a composición, rasgos topográficos y procesos físicos dominantes, las geoformas individuales se agruparon en tres “dominios” o unidades geomorfológicas principales (tabla 2.1), denominadas como *Relieve costero*, *Planicies fluvio-marinas* y *Zonas intermareales* (figura 2.4). Los relieves costeros y las planicies fluvio-marinas son conocidos en la literatura como *costas rocosas erosionales* (en las cuales han dominado en los últimos milenios procesos erosivos como los movimientos de masa y la erosión por corrientes subaéreas y submarinas), y como *costas depositacionales* (en las cuales han dominado los procesos relacionados con

el depósito y distribución de sedimentos sueltos). Geomorfológicamente son litorales con contrastes extremos en cuanto a topografía-relieve, origen y evolución durante el Holoceno tardío –últimos 5.000 años (Kelleat, 1995; Bird, 2008).

Las zonas intermareales representan los espacios litorales que quedan al descubierto durante las mareas bajas, y son sumergidos durante las mareas altas. Son básicamente áreas de transición donde se ubican las playas arenosas y las demás superficies inundables normalmente por el mar, incluyendo parte de las lagunas interiores y los niveles inferiores (bases) de los acantilados. Puesto que los niveles máximos y mínimos de las mareas varían constantemente en función de muchos factores (atracción gravitacional, vientos, corrientes), las líneas que marcan sus límites hacia tierra y hacia el mar son solo aproximaciones impuestas por la necesidad de la representación cartográfica. Dados los objetivos del proyecto, estas geoformas se particularizaron para enfatizar los aspectos relacionados más directamente con los ecosistemas de manglares, y se describirán en conexión con las otras dos grandes unidades.

Tabla 2.1. Geformas y principales unidades geomorfológicas definidas

	Relieves costeros	Planicies fluvio-marinas	Zonas intermareales
Geformas	Colinas Valles aluviales Terrazas emergidas Terrazas sumergidas Canales submarinos Escarpes submarinos Domos diapíricos Volcanes de lodo Islotes rocosos Peñascos rocosos Depósitos de movimientos de masa	Pantanos de agua dulce Charcas de playa Cordones de playa Barras y surcos submareales Planicies aluviales Diques naturales Barras fluviales Lagunas costeras	Playas Planos intermareales vegetados Planos intermareales no vegetados (incluyendo superficies rocosas de abrasión ubicadas entre los niveles de mareas altas y bajas) Acantilados (bases de)

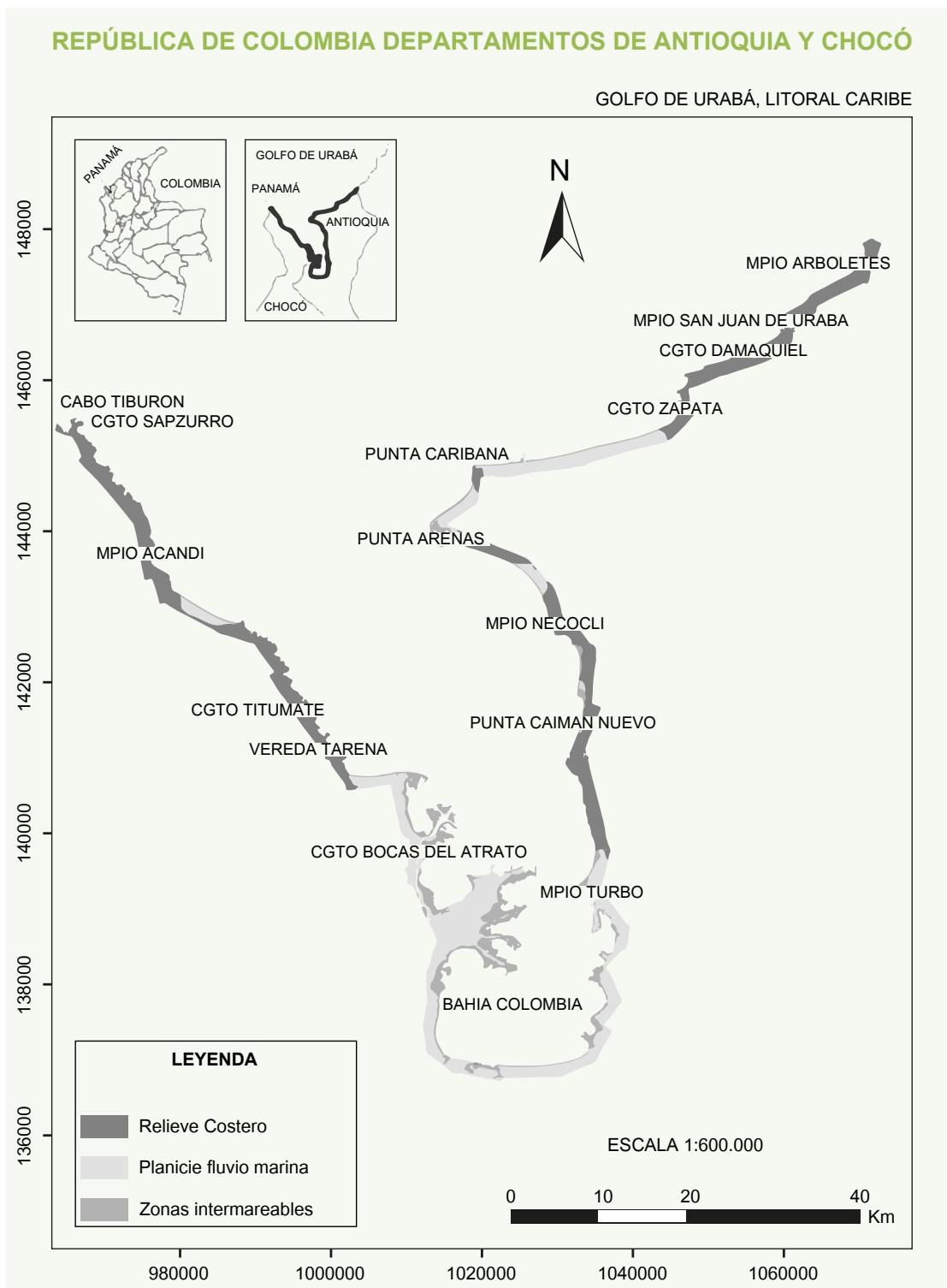


Figura 2.4. Localización y extensión de los tres grandes tipos de unidades geomorfológicas definidas en el área de estudio.

Relieve costero

En esta unidad se agrupan los sectores litorales caracterizados por diferencias importantes de relieve, dadas por la presencia de colinas, domos diapíricos, islotes y peñascos rocosos; también por superficies planas (terrazas) ubicadas entre uno y varios metros por encima o por debajo del nivel del mar actual (figura 2.5). Sus geoformas son típicas de costas conformadas por materiales rocosos duros

o semiconsolidados, con depósitos de sedimentos que “rellenan” las depresiones topográficas entre las colinas, formando valles aluviales de extensiones muy variables. En los relieves costeros sumergidos son diferenciables canales submarinos (correspondientes a antiguos cauces fluviales), y depresiones a modo de valles que están siendo colmatadas por sedimentos finos y fragmentos rocosos. Los siguientes dos ejemplos sobre los litorales del Darién y del Urabá antioqueño precisan

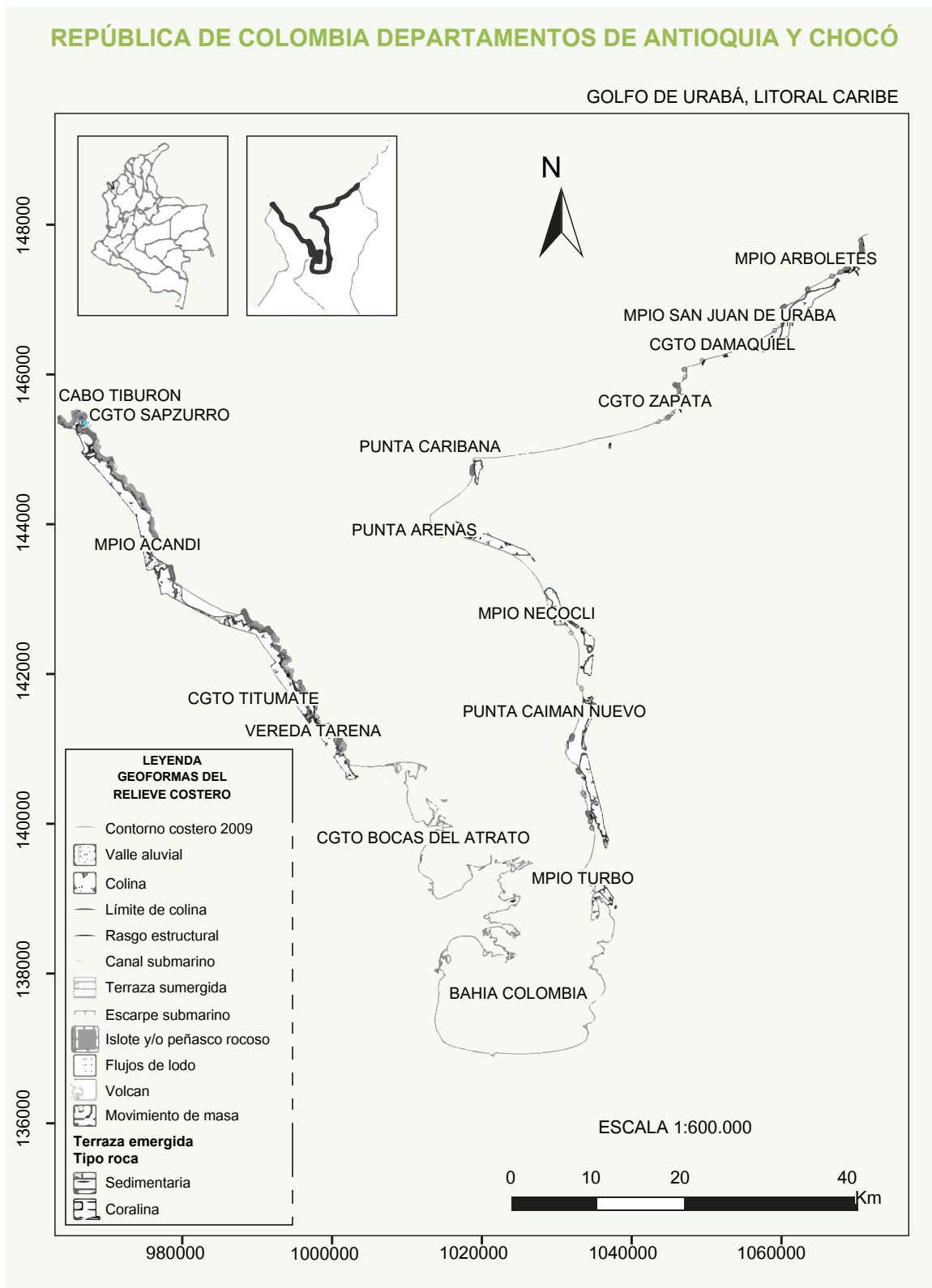


Figura 2.5. Distribución espacial de los litorales del relieve costero entre Arboletes y cabo Tiburón.

las similitudes y diferencias geomorfológicas entre los relieves rocosos de ambos sectores (Las descripciones del texto se complementan con los mapas y mosaicos fotográficos de las planchas anexas correspondientes).

Relieve costero en el sector de Arboletes (Anexo 2.1: planchas 2A y 2B): Ubicado en el extremo noreste de la costa antioqueña, este sector es un ejemplo de franja litoral que evoluciona sobre rocas sedimentarias del Terciario, principalmente arcillolitas y lodolitas con algunas intercalaciones de areniscas. Es también, junto con Damaquiel, un buen ejemplo de manifestaciones activas del diapirismo de lodos muy cerca de la línea de costa actual, tanto en tierra como bajo el mar (Ramírez, 1976). El sector se caracteriza por la presencia de una extensa superficie regular (terrazza) con alturas entre 5–10 m por encima del nivel del mar, ligeramente inclinado hacia el norte. Esta terraza es cortada al sur por el río Arboletes y por varios drenajes (cárcavas) profundos hacia el norte, y tiene varias depresiones menores que corresponden a pantanos de agua dulce y a cuerpos artificiales de agua.

De acuerdo con Page (1986), esta terraza corresponde a una superficie de erosión marina (originada por debajo del nivel del mar), que ha sido levantada a su nivel actual por procesos tectónicos y por efectos del diapirismo de lodos. El domo diapírico que interrumpe la superficie plana regular de la terraza evidencia las deformaciones recientes del terreno, resultantes de los esfuerzos verticales y de la extrusión de los lodos que forman el volcán de Arboletes (cuyo cráter ha sido ampliado artificialmente), y varios cráteres menores “chimeneas” en los flancos de la colina.

El trabajo de Page (1986) demuestra también que las evidencias regionales de levantamientos costeros, como el descrito para el sector de Arboletes, son comunes entre Mulatos y las islas de San Bernardo. En este segmento de costa se encuentran diferentes niveles de terrazas marinas levantadas, ubicadas entre unos pocos metros y 36 msnm actual; esta última cerca a la desembocadura del río San Juan. La determinación de las alturas y edades de estas terrazas (por dataciones radiocarbono de restos de conchas, corales y materia orgánica) lleva a la conclusión de que este sector de costa ha sido deformado fuertemente

durante los últimos 5.000 años, y que las velocidades de elevación (deformación) se pueden estimar entre 2–15 mm/año.

El tramo Arboletes-punta Rey (departamento de Córdoba) es también conocido por las fuertes pérdidas de terrenos litorales en las últimas seis décadas. La erosión acelerada de las playas y de la terraza emergida adyacente ha alcanzado velocidades de hasta 5 m/año (Correa y Vernet, 2004), y se inició a partir de la desaparición total, en 1975, de la península de punta Rey, un saliente rocoso de 1,6 km de largo que protegía del impacto directo de las olas a las playas ubicadas hacia el sur. Actualmente, el contorno litoral (vista en planta) está regularizado (recto) debido a la intensa erosión dominante, por lo que las playas tienen amplitudes mínimas con respecto a las reportadas hace 20 años (CORPOURABA-UNIVERSIDAD NACIONAL, 1998; González y Guarín, 2003; Correa y Vernet, 2004).

Durante periodos de *olas calmas* estas playas se conservan por la acumulación de arenas generadas por los espolones adyacentes, pero la mayoría de ellas quedan sumergidas completamente durante las mareas altas. Sus límites hacia tierra coinciden con la base de los acantilados del borde externo de las terrazas, constituidos típicamente por arcillolitas y lodolitas muy fracturadas y alteradas químicamente, especialmente en las cercanías del domo diapírico. El retroceso de los acantilados en este sector se da tanto por el impacto directo de los oleajes como por la ocurrencia de numerosos movimientos de masa (principalmente desplomes, movimientos rotacionales y flujos de tierra) asociados a las lluvias y a filtraciones de aguas residuales en las áreas pobladas. En la actualidad, se inicia la construcción de importantes obras de defensa costera entre punta Rey y la desembocadura del río Hobo.

El perfil batimétrico ilustrado sobre el extremo norte del sector muestra una plataforma marina regular y suavemente inclinada (entre 5°–20°) hacia aguas profundas, indicando que sus rocas no son muy resistentes y que el mar ha ascendido progresivamente y avanzado sobre la tierra, “rebanando”, desde hace cientos de años los terrenos litorales de la zona.

La falta de cobertura de arenas en este perfil indica que el sector es actualmente deficitario en materiales para construir o sostener playas de dimensiones importantes. La regularidad de la plataforma marina en los relieves costeros del litoral antioqueño es perturbada solamente por islotes y bajos rocosos remanentes de la erosión, y por domos submarinos de lodos de alturas métricas y bases (vista en planta) del orden de las decenas de metros. Los mejores ejemplos conocidos a la fecha son los cartografiados por Ramírez (1976) y los identificados en el perfil batimétrico realizado al frente de Damaquiel, donde se evidencian claramente el relieve producido por un diapiro y la expulsión de gases desde el fondo marino.

Relieve rocoso en el sector cabo Tiburón-bahía Sapzurro (Anexo 2.1: planchas 3A y 3B): este sector es un ejemplo de litoral irregular (vista en planta) cuya configuración depende, en primera instancia, de la topografía de las colinas rocosas, principalmente basálticas y con dureza y resistencias mayores a las de las arcillolitas y lodolitas de Arboletes. En el sector de cabo Tiburón, las laderas de las colinas se sumergen directamente en el mar, formando un frente acantilado de alturas de hasta 15–20 m, con numerosas salientes y entrantes menores que reflejan resistencias diferentes al embate de los oleajes. En buena medida, la resistencia de estas rocas a los embates del oleaje y a la ocurrencia de movimientos subaéreos de masas (caídas de rocas) depende de la densidad de las fracturas y grietas que las cortan.

Hacia el sur, hasta la punta El Cabo, el contorno se regulariza y se define sobre playas rectas ubicadas al frente de pequeños valles fluviales. Estas playas están constituidas por mezclas de arenas oscuras, resultantes de la erosión de los basaltos, y por arenas claras provenientes de una franja de rocas con superficie más o menos regular que se adentra unos 300 m hacia el mar, hasta una profundidad aproximada de 4 m (Díaz et al., 2000). Geomorfológicamente, esta superficie se denomina *terrazza arrecifal sumergida*, y su origen se relaciona con la acción erosiva de las olas sobre rocas formadas por arrecifes coralinos (*calizas arrecifales*). La terraza tiene una inclinación general hacia el mar entre

5°–15°, y su límite externo está bien marcado por escarpes submarinos que marcan un fuerte cambio de pendiente hasta los 10–20 m de profundidad. Esta terraza arrecifal está cortada por canales submarinos y grietas por los cuales se “fugan” hacia profundidades mayores los materiales de las playas adyacentes.

Bahía Sapzurro es un ejemplo típico de ensenada formada por la erosión marina de sectores rocosos con resistencias a la erosión relativamente bajas, caso contrario a lo que se aprecia en la zona de cabo Tiburón. Actualmente, es un sector relativamente protegido de los oleajes y con fondos someros constituidos por los remanentes de la terraza (parches) y por fondos de sedimentos calcáreos provenientes de la erosión de la terraza sumergida. En su costado este se presenta otra superficie coralina, ubicada esta vez entre 1–2 m por encima del nivel del mar (terrazza coralina emergida) en la que se encuentran restos reconocibles de corales escleractíneos (pertenecientes probablemente a los géneros *Diploria*, *Montastrea* y *Siderastrea*), y faunas de moluscos (litorinas y poliplacóforos o “chitones”, entre otros). Geoformas similares son también rasgos comunes del contorno litoral en otras zonas del Darién, especialmente en el sector de El Aguacate y áreas contiguas. Puesto que los corales no se desarrollan por encima del nivel del mar, estas geoformas son evidencias claras de cambios relativos entre el nivel del mar y la tierra, generados muy probablemente a raíz de levantamientos geológicos del sector (Díaz et al., 2000).

El litoral rocoso de El Darién muestra numerosas evidencias geomorfológicas de erosión y retroceso continuado de sus contornos a mediano y largo plazo (décadas, siglos). Estas evidencias están dadas especialmente por la presencia de islotes y peñascos separados de “tierra firme”, y por la formación de rasgos como arcos y cavernas en las bases de los acantilados. Debe considerarse también que playas como las de Capurganá y Triganá están sufriendo desde hace décadas los efectos del avance del mar, aún en sectores relativamente protegidos de los oleajes. Es evidente el deterioro acelerado de los arrecifes actuales en el sector de Capurganá, debido a daños físicos producidos por el anclaje de embarcaciones.

Algunos perfilamientos batimétricos disponibles en el sector del relieve costero del Darién indican una plataforma marina completamente diferente a la ilustrada para el sector de Arboletes. En lugar de ser una superficie plana regular labrada sobre arcillolitas y lodolitas, esta plataforma se desarrolla en rocas duras basálticas y muestra irregularidades notables, incluyendo salientes rocosas, valles sumergidos y escarpes empinados entre los 10–32 m de profundidad. Considerando que el nivel medio del mar ha ascendido desde los -100 m hasta su nivel actual durante los últimos 14.000 años, estos escarpes podrían corresponder a antiguos acantilados formados durante niveles marinos más bajos que el actual.

Planicies fluvio-marinas y planos intermareales vegetados (Anexo 2.1: planchas 4, 5 y 6): Las Planicies fluvio-marinas en el Urabá-Darién (figura 2.6) son extensos depósitos sedimentarios con superficies más o menos regulares, inclinadas ligeramente hacia el mar. En sus zonas más internas (alejadas del mar), son áreas con cobertura vegetal densa (donde no han sido intervenidas), cortadas por cauces y con numerosos pantanos de agua dulce sin influencia marina actual (planicies aluviales). Cerca del contorno costero aparecen geoformas típicas de ambientes que han estado bajo influencias combinadas fluviales y marinas, particularmente representados por las zonas de cordones de playa que han quedado ubicados “tierra adentro”, a medida que las planicies crecen y le ganan terrenos al mar. Los cordones de playa (*beach ridges*) se forman generalmente en zonas con abundantes aportes de sedimentos arenosos, y el hecho de que sus ejes (líneas que marcan sus alturas máximas, 1 m a 2 m sobre los terrenos adyacentes) sean aún reconocibles en las fotos sugiere una edad relativamente reciente, en el rango de los últimos cientos de años.

En el Darién, los relieves de colinas y el tamaño relativamente pequeño de las cuencas de drenaje no ofrecen ni el espacio ni los sedimentos suficientes para conformar planicies fluvio-marinas extensas. Se exceptúan las ubicadas al sur de Acandí, relacionadas con los depósitos de sedimentos de los ríos Acandí, Tolo y Negro, este último en el sector de Playona. Por el contrario, las zonas geológicamente deprimidas al

oeste y sur del Golfo han sido el receptáculo, por millones de años, de gran cantidad de sedimentos aportados por ríos como el Atrato, Suriquí y León (y/o sus equivalentes antiguos). Consecuentemente, en ellas se ha formado la extensa planicie fluvio-marina actual que conforma la zona costera.

Sobre el costado este del Golfo, se definen también pequeñas planicies fluvio-marinas asociadas a los valles inferiores y a los deltas de ríos como el Caimán Viejo, el Caimán Nuevo, el Turbo, el Guadualito y el Currulao. En el litoral antioqueño se define bien la planicie fluvio-marina del río Mulatos. Las condiciones ambientales particulares de cada sector (cantidad de aportes sedimentarios, número y estabilidad de ríos y caños, precipitación, exposición a los oleajes, grado de intervención humana) imponen particularidades a la geomorfología de los contornos costeros de cada una de ellas.

La planicie fluvio-marina actual del delta del río Atrato (Anexo 2.1: planchas 4A y 4B): El lóbulo principal del delta del río Atrato es el mejor ejemplo en el área de estudio de la conformación de nuevos terrenos litorales a costa del mar (progradación costera) durante los pasados 5.000 años. En términos generales, el sector está relativamente protegido de los oleajes y corrientes asociadas, lo cual ha posibilitado el avance hacia el interior del Golfo de los diferentes brazos del delta. Su progradación (vista en planta) recuerda los dedos extendidos de la mano y se denomina en la literatura como *patrón digitado* o del tipo “*pata de pájaro*” (*birdfoot*). Este patrón es más o menos similar al del delta del Mississippi (guardando las proporciones) y otros deltas actuales (Anexo 2.1: **plancha 4B**), y evidencia morfológicamente que el factor principal en su formación es la gran cantidad de aportes sedimentarios que no alcanzan a ser distribuidos a lo largo del litoral por las corrientes de mareas y oleajes. Entre las bocas Matuntugo y el brazo Leoncito, la planicie aluvial se ha ido formando progresivamente a lado y lado de los canales principales. Está principalmente constituida por sedimentos lodo-arenosos depositados en sectores de aguas relativamente calmas. Los canales (distributarios) del río Atrato están separados de la planicie aluvial por montículos (diques naturales) conformados por lodos que se depositan durante

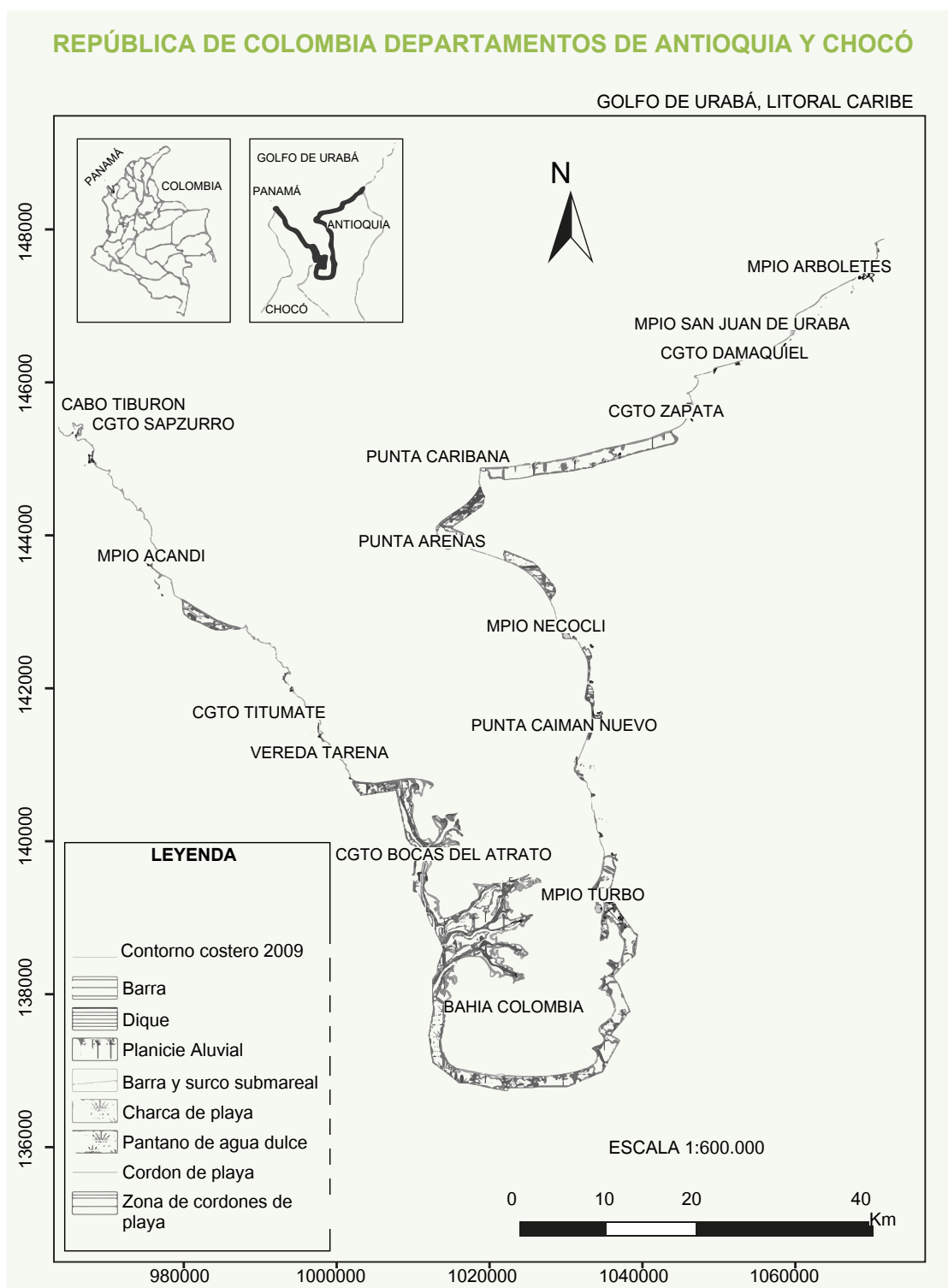


Figura 2.6. Distribución espacial de las geoformas de las planicies fluvio-marinas.

los periodos de inundaciones y caudales mayores. En las áreas de estas planicies se forman también pantanos y depresiones correspondientes a cauces abandonados del Río, evidencias de la alta inestabilidad natural típica de los sectores deltaicos.

El perfil batimétrico ilustrado en la **Anexo 2.1: plancha 4B**, realizado al sur de la boca Leoncito, muestra muy bien el desarrollo de un extenso prodelta (parte sumergida del delta) que se ha

ido formando con los abundantes aportes de sedimentos. Se extiende hasta una profundidad de unos 10 m, desde donde la pendiente general del fondo marino se empina hacia los fondos del Golfo. En las zonas inferiores del perfil, a profundidades del orden de los 28 m, se detectan depósitos horizontales de sedimentos arenosos y lodosos, con manchas negras que identifican gases ascendiendo a la superficie, producto de la descomposición de la materia orgánica.

La planicie fluvio-marina del sector: delta del río Turbo-río Currulao (Anexo 2.1: planchas 5A y 5B): El costado este del Golfo, entre las desembocaduras actuales de los ríos Turbo y Currulao, es un ejemplo de litoral con geoformas y sedimentos típicos de las planicies fluvio-marinas, pero fuertemente influenciado por intervenciones antrópicas (Anexo 2.1: plancha 5B). Su contorno actual se define, de norte a sur, por los siguientes elementos morfológicos principales:

- A. El delta actual del río Turbo, en el cual se identifica una planicie fluvio-marina progrediente (avanzando hacia el mar). Esta zona está conformada por una planicie aluvial, por pantanos intermareales vegetados (pantanos de manglar) y por conjuntos de cordones de playa, el más externo de los cuales se extiende hasta punta Yarumal. La formación de este delta se inició en 1958, fecha en la cual la desembocadura del río Turbo, anteriormente ubicada en el extremo norte de la actual bahía de Turbo, fue desviada artificialmente a su lugar actual (Keep, 2000).
- B. La denominada “Espiga de Turbo”, que define y aísla del “mar abierto” a la bahía de Turbo. Esta espiga es una construcción de cordones de playas “soldados” sucesivamente y de depósitos aluviales, bordeada al interior por pantanos vegetados. El examen preliminar del mapa del Brigadier Francisco Fidalgo, realizado en alguna fecha entre 1794–1805, sugiere que la *Espiga de Turbo* no existía en ese entonces, y por tanto es un depósito de sedimentos cuya formación se inició no hace más de 200 años (Anexo 2.1: plancha 5B).
- C. Hacia el sur de punta Las Vacas, los deltas de los ríos Guadualito y Currulao representan acumulaciones recientes de sedimentos lodosos cuyo origen parece estar relacionado, al menos en parte, con la desviación de canales, según se constata al observar el mosaico de fotos tomadas en 1938, en el cual apenas aparecen (Anexo 2.1: plancha 5B).

La evolución histórica de la *Espiga de Turbo* es un ejemplo muy representativo de pérdidas de playas y terrenos adyacentes, asociadas tanto a condiciones naturales como a los efectos de intervenciones antrópicas. El seguimiento de su desarrollo durante las últimas décadas (basado en comparación de aerofotografías y testimonios de sus habitantes), evidencia pérdidas de playas del orden de las decenas de metros y la destrucción total o parcial de la infraestructura física y turística de la zona (Aristizábal et al., 1990; Franco y Gómez, 1996; Velásquez y Rave, 1996; Correa y Vernet, 2004; Agámez y Arrieta, 2005; Estrada y Gil, 2005). La información disponible sugiere, además, que la erosión de estas playas se inició naturalmente (antes de su ocupación intensiva) y se generalizó (y aceleró) a partir de la desviación del río Turbo, cuyo delta retiene el tránsito de arenas provenientes del norte e interrumpe la alimentación de las playas de la espiga. Al igual que en el sector de Arboletes, el déficit de arenas en esta zona se relaciona muy probablemente también con la extracción intensiva de materiales durante las últimas seis décadas, y con las equivocadas respuestas ingenieriles que basaron la defensa de las playas en la construcción de espolones, olvidando que este tipo de obras no es eficiente en zonas deficitarias en arena, y que sus efectos pueden ser contrarios a los esperados (Anexo 2.1: plancha 5B).

El perfil batimétrico que se muestra en la Anexo 2.1: plancha 5B ilustra las características de los fondos y subfondos localizados hacia al sur de la punta Las Vacas. En la parte inferior del registro se identifica un basamento rocoso, constituido probablemente por lodolitas alteradas. Sobre estas rocas se disponen acumulaciones recientes de sedimentos que alcanzan espesores de hasta 15 m en las zonas con profundidades de 28 m. Las manchas negras evidencian el ascenso de burbujas de gases (probablemente metano) provenientes de un nivel de sedimentos ricos en materia orgánica en descomposición, definido en el perfil como una línea negra más oscura que las adyacentes.

Zonas intermareales – Planos intermareales vegetados (Anexo 2.1: planchas 4, 5 y 6): Como se mencionó anteriormente, en esta unidad se agruparon las geoformas cuyas superficies quedan cubiertas por el mar durante los periodos de las mareas altas normales. Se incluyeron también los frentes de acantilados activos, porque sus bases (niveles inferiores) quedan sumergidas en marea alta y/o son golpeadas por los oleajes. Con estos criterios, las geoformas intermareales del contorno litoral Urabá-Darién corresponden a las bases de los acantilados, a las playas actuales y a los planos intermareales, tanto los vegetados como los no vegetados (figura 2.7). Debe anotarse que, especialmente en los sectores de acrecimiento caracterizados por la formación de cordones, las zonas más internas de las playas van quedando progresivamente por fuera del alcance de las mareas altas normales. En estos sectores son comunes pequeñas dunas y montículos arenosos, formados por arenas de playa transportadas por el viento hacia el interior de la franja litoral. En el contexto de *Expedición Antioquia* las geoformas intermareales más importantes son los planos intermareales vegetados, definidos como depósitos de sedimentos -generalmente finos- sobre los cuales se fijan y desarrollan los manglares. Estos espacios son conocidos ecológica y coloquialmente como los “*pantanos o bosques de manglar*” (ver capítulo 4).

Geomorfológicamente, el desarrollo de los pantanos de manglar es posible sólo en áreas de aguas calmas, donde los oleajes, las mareas y las corrientes marinas o fluviales no tienen la velocidad suficiente para evitar la depositación de lodos y tampoco erosionan los sedimentos del fondo hasta llegar a niveles de rocas duras, sobre los cuales los propágulos no pueden fijarse (Bird, 1985; Woodroffe, 1992; Bird, 1993). En el contorno litoral del Urabá-Darién, estas condiciones han existido por cientos de años en las áreas adyacentes (no frontales) a los brazos del delta del río Atrato y en los sectores más protegidos de los deltas de los ríos Mulatos, Caimán Nuevo y Caimán Viejo, en su orden de importancia (planchas 4, 5 y 6). El mejor ejemplo actual de pantanos de manglar se ubica en el lóbulo más desarrollado del delta del Atrato, donde los planos intermareales colonizados por manglar corresponden a depósitos de materiales

finos dispuestos en las bahías (a ambos lados de los brazos principales), protegidas la mayor parte del tiempo de la incidencia de oleajes fuertes y de las corrientes de descargas del río (Anexo 2.1: plancha 4).

Los planos intermareales no vegetados se presentan comúnmente como barras ubicadas al frente de las desembocaduras (algunas veces formadas con los materiales de dragado, caso del río León). También como acumulaciones de arenas y lodos adyacentes a los pantanos de manglar. En este último caso, pueden corresponder a acumulaciones muy recientes de sedimentos (meses-años) en las cuales aún no se han fijado propágulos, o a zonas donde las corrientes no permiten su fijación, como en la desembocadura del río Suriquí a la bahía Colombia. En el costado este del Golfo son notables también las dos áreas importantes de manglares ubicadas en el tramo delta del río Turbo –desembocadura del río Currulao (Anexo 2.1: plancha 5) y en la ensenada (ciénaga) de Rionegro, adyacente a punta Arenas (Anexo 2.1: plancha 6).

En el primer sector, el crecimiento del delta del río Turbo (y la formación de la espiga y la punta Yarumal), han ofrecido condiciones para la formación de planos intermareales de importancia, colonizados gradualmente y, en algunas zonas, intercalados con sectores de la planicie fluvial del río y con sus conjuntos de cordones de playa. Hacia el sur, los bordes internos de la bahía de Turbo (cuya formación no parece tener más de 200 años, según lo sugieren las comparaciones con mapas antiguos; Anexo 2.1: plancha 5B) y los sectores bajos adyacentes, corresponden básicamente a planos intermareales vegetados por manglar, talados y desecados intensivamente (Keep, 2000).

El segundo sector, en la ensenada (ciénaga) de Rionegro (Anexo 2.1: plancha 6), ilustra un ejemplo de planos intermareales vegetados por manglar, desarrollados en ambientes protegidos, semi-aislados del mar y con más de 200 años de existencia de acuerdo con la información del mapa del Brigadier Fidalgo. La Ensenada se ubica justo al suroeste del conjunto de colinas (Cerro del Águila) de dirección general NW-SE, que se define en tierra hasta la punta Caribaná y se prolonga

hacia el mar como una zona de bajos rocosos y de volcanes de lodo submarinos. Estas colinas, compuestas por rocas sedimentarias del Terciario, evidencian el levantamiento geológico de la zona, y geomorfológicamente son un "núcleo" resistente a la erosión que retiene las arenas transportadas por el mar desde la desembocadura del río Mulatos, induciendo la formación del extenso conjunto de

cordones de playa que define el contorno litoral de la zona (Raasveldt y Tomic, 1958). Hacia el suroeste de punta Caribaná, los abundantes aportes de arena desde el NE posibilitaron la formación de los cordones y playas de El Bobal, cuyos extremos meridionales definen el borde externo de la ensenada y están hoy sujetos a fuerte erosión, anunciando nuevas conexiones de la ensenada con el mar.

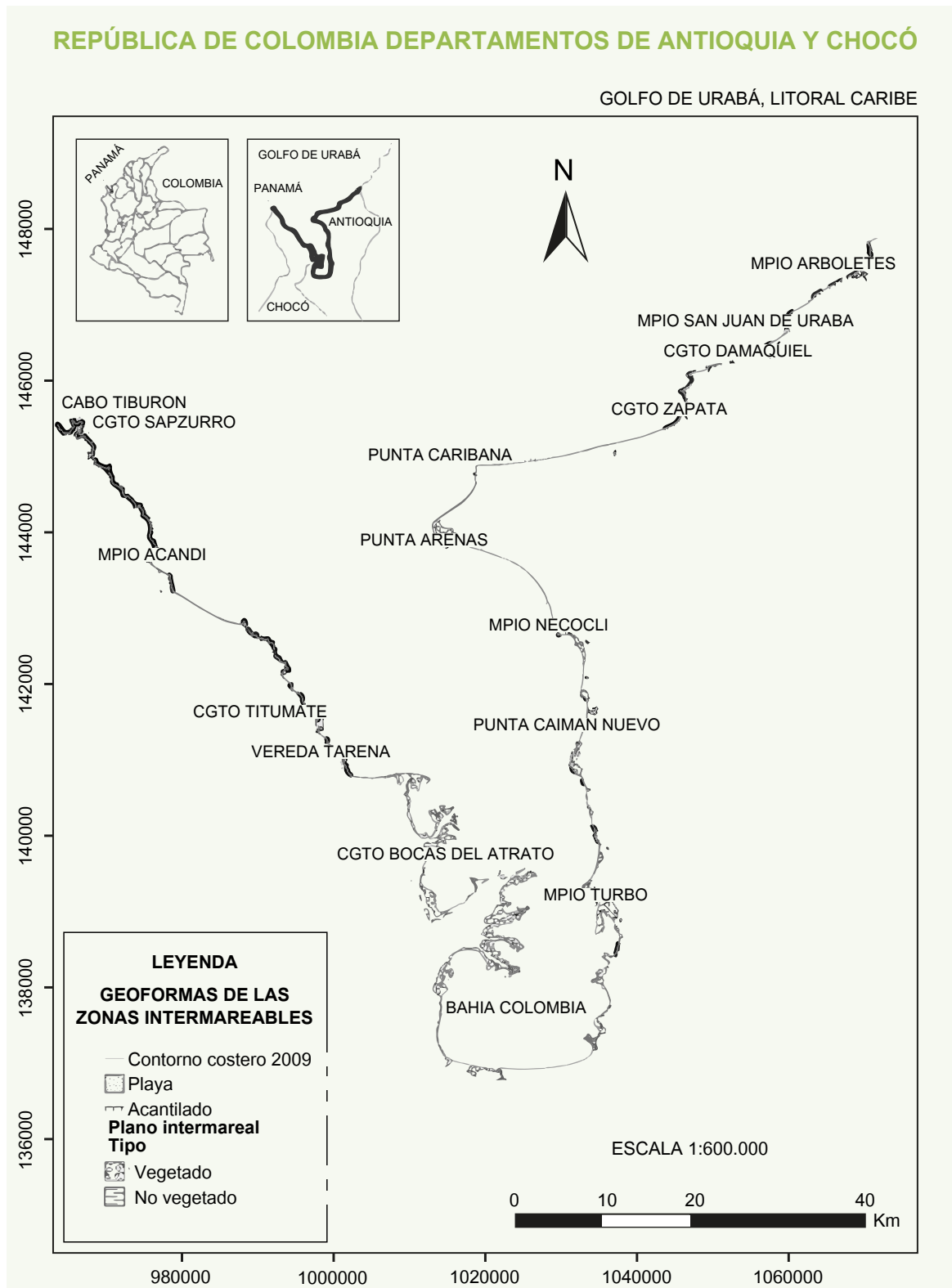


Figura 2.7. Distribución espacial de las geoformas intermareales.

A lo largo del contorno costero punta Caribaná-Arboletes los parches de manglares ubicados en las desembocaduras de los ríos Mulatos, Damaquiel, Zapata, San Juan, Hobo y Arboletes son restos de extensiones mucho mayores que han ido desapareciendo a medida que la erosión litoral (y en los casos de Turbo y la desembocadura del río Damaquiel, el relleno artificial) regulariza el contorno costero y destruye las playas y los planos intermareales adyacentes. Sobre el litoral del Darién chocono no existen hoy ocurrencias (cartografiadas a la escala del trabajo) de pantanos de manglar.

La cuantificación de las áreas ocupadas por manglares en el litoral antioqueño (tabla 2.2) indica para hoy un total de 65,44 km², la mayoría de ellos correspondientes a las zonas anteriormente descritas del Golfo. A causa de las pérdidas históricas de terrenos por la erosión litoral y al drenaje/rellenos artificiales de extensas superficies intermareales (sobre todo en el costado este del Golfo y en el sector de Damaquiel), esta cifra es probablemente mucho menor que las correspondientes a los periodos anteriores a la ocupación de la zona.

Tabla 2.2. Estadísticas S.I.G. sobre la longitud del contorno litoral y áreas (en km² y Ha) de los planos intermareales vegetados colonizados actualmente por manglares.

SITIO	ÁREA (km ²)	ÁREA (Ha)
Delta del río Atrato	47,64	4764,0
Río Suriquí	1,919	191,9
Río León	0,79	79,1
Río Caño Viejo	1,744	174,4
Río Currulao-Puerto César	1,797	179,7
Río Guadualito	0,248	24,8
Guadualito-Astillero Casanova	0,527	52,7
Turbo	1,793	179,3
Río Caimán Nuevo	2,385	238,5
Río Caimán Viejo	0,882	88,2
Río Bobal	1,846	184,6
Ensenada (ciénaga) Rionegro	3,711	371,1
Río Damaquiel	0,152	15,2
Río Hobo	0,001	0,1
TOTAL	65,44	6543,7

CONCLUSIONES

La *geodatabase* geomorfológica de los 600 km del contorno litoral Urabá antioqueño-Darién chocono es una herramienta de máxima utilidad para el estudio integral de sus ecosistemas y para los procesos de gestión de su desarrollo. La integración de esta información con la de otras temáticas (climatología, oceanografía, geología, biología, tipo e impactos de intervenciones antrópicas) permitirá elaborar modelos y escenarios sobre las respuestas de los ecosistemas litorales (pantanos de manglares, playas, arrecifes coralinos, ciénagas, etc.) a los impactos de las intervenciones humanas y a las condiciones

relacionadas con los efectos del *Cambio Climático Global* para este siglo.

La cartografía a escala 1:5.000 del contorno costero Urabá-Darién permitió definir sus principales características geomorfológicas y categorizar dos tipos principales de contornos litorales, denominados como *relieves costeros* y *planicies fluvio-marinas*. Considerando la vulnerabilidad alta del litoral antioqueño a los impactos del *cambio climático global*, se ubicaron y agruparon en una categoría específica –denominada *zonas intermareales*– las geoformas más directamente

afectadas por eventos como el ascenso del nivel del mar, particularmente las playas y los planos intermareales (vegetados y no vegetados).

Los relieves costeros del litoral Urabá-Darién incluyen colinas, valles aluviales, terrazas coralinas (emergidas y sumergidas), escarpes y canales submarinos, islotes y peñascos rocosos. En su conjunto, evidencian inestabilidad geológica y tendencias erosivas dominantes, incluyendo probablemente levantamientos actuales de la franja costera a velocidades que a la fecha han sido estimadas en mm/año. En el relieve costero del litoral antioqueño (incluyendo la plataforma continental adyacente), se identifican manifestaciones activas e inactivas del diapirismo de lodos, materializadas por domos y colinas, volcanes, coladas de lodos y emanaciones de gases provenientes de los fondos marinos. Los numerosos antecedentes históricos de manifestaciones violentas de este fenómeno, entre muchas otras la explosión del volcán de lodos Cahual en 1992 (nueve víctimas fatales y la expulsión de 50.000 m³ de lodos) enfatizan la necesidad de estudiar en detalle sus características e impactos sobre pobladores e infraestructura. La ocurrencia de manifestaciones diapíricas en la franja litoral dificulta en gran medida la predicción de la evolución a mediano-largo plazo del contorno costero antioqueño.

Las planicies fluvio-marinas del litoral antioqueño reflejan, en primera instancia, la colmatación (durante millones de años) de depresiones geológicas con materiales producidos por la erosión de las colinas del Darién, de la cordillera Occidental y de la parte sur de la llanura costera del Caribe. Sus superficies actuales están conformadas principalmente por planos aluviales cortados por canales fluviales (activos e inactivos), diques naturales y pantanos de aguas dulces. En las cercanías al mar, estas geoformas coexisten con geoformas originadas por procesos fluviales y marinos, particularmente con conjuntos de playas antiguas (cordones de playa) que han sido adosados al litoral durante los últimos siglos.

Las geoformas denominadas en la cartografía de *Expedición Estuarina* como *planos intermareales vegetados*, son típicamente acumulaciones de

sedimentos, en su mayoría lodosos (limos y arcillas), cuyas superficies son descubiertas y sumergidas periódicamente durante las mareas bajas y altas. Estos depósitos han sido colonizados por especies vegetales del ecosistema de manglar, y son llamadas coloquialmente como "*pantanos de manglares*". En el litoral antioqueño, las superficies actuales de los pantanos de manglares totalizan 65,44 km². En su mayoría se encuentran en sectores internos del Golfo, principalmente en el delta del río Atrato, en el sector entre los deltas de los ríos Turbo y Currulao, y en la ensenada (ciénaga) de Rionegro.

Debido a la erosión de terrenos y a la desecación/relleno de extensas áreas bajas (especialmente en los sectores de Turbo y Damaquiel), la cifra anterior es probablemente mucho menor a las correspondientes para periodos anteriores a la ocupación intensiva de la zona. Los mosaicos georreferenciados -adquiridos en el año 2009 por esta investigación-serán la base para comparaciones multitemporales que cuantificarán precisamente los cambios en los pantanos de manglares y demás ecosistemas estratégicos del área, incluyendo a las playas y arrecifes coralinos.

La información geomorfológica disponible sobre el litoral antioqueño es insuficiente aún para caracterizar, con la profundidad deseable, todos sus aspectos básicos y aplicados. Sin embargo, los análisis históricos disponibles, aunque de carácter cualitativo o semicuantitativo en su mayoría, evidencian sin lugar a dudas su inestabilidad física y biológica. Esta inestabilidad se debe tanto a factores naturales completamente por fuera del control humano (levantamientos/hundimientos por la actividad tectónica activa de la zona y/o los efectos de diapirismo de lodos), como al conjunto de intervenciones antrópicas desordenadas (extracción de materiales de playa, desecación/relleno/contaminación de pantanos de manglares, etc.) que se han dado en la zona. Las evaluaciones más completas publicadas a la fecha sobre las magnitudes y causas del avance generalizado del mar en el área plantean el ascenso gradual del nivel del mar como una de sus causas más probables (consecuencia no futura sino presente del *cambio climático global*).

En el contexto anterior, se recomienda que entre las prioridades de investigaciones y expediciones posteriores se incluyan estudios geológicos/geomorfológicos relacionados específicamente con: a) el aprovechamiento económico sostenible de los recursos naturales de la zona; b) la determinación de las tasas de hundimientos y levantamientos costeros para cada tipo particular de litoral; c) el establecimiento de una cronología precisa de la formación de los depósitos litorales, necesaria para conocer las tendencias evolutivas pasadas y extrapolar hacia el futuro; d) evaluaciones de amenazas, vulnerabilidad y riesgos relacionados con fenómenos como el diapirismo de lodos,

terremotos, inundaciones y eventos meteorológicos de alta energía, y e) evaluaciones de los impactos graduales del ascenso del nivel del mar sobre los relieves costeros y las planicies fluvio-marinas. Una de las principales limitantes para abordar este tipo de estudios es la carencia de materiales cartográficos a la resolución requerida, i. e., mapas topográficos de la franja litoral que representen en detalle la topografía actual entre los 0–20 m de altura. Estos insumos son indispensables para identificar, localizar y cuantificar los sectores que serán (están siendo) afectados por la erosión litoral y por el aumento en la extensión y recurrencia de las inundaciones fluviales y marinas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a todas las personas que contribuyeron a la ejecución del proyecto *Expedición Estuarina-golfo de Urabá*. En las universidades de Antioquia y Nacional, a todos nuestros colegas participantes en esta publicación, y a Ana María Gómez, Édgar Andrés Estrada, Juan Carlos Delgado y Harold Terán por su excelente coordinación y apoyo logístico y de campo. En la Universidad EAFIT al Rector Dr. Juan Luis Mejía y a los doctores Félix Londoño y Geovanny Bedoya, Coordinador de Investigaciones y Jefe del Departamento de Ciencias de La Tierra, respectivamente. A Ángela Sánchez y a Ricardo Pardo -Investigación EAFIT- por su apoyo administrativo.

Este capítulo incluyó también numerosos materiales y observaciones (perfilamientos batimétricos, fotografías, materiales cartográficos, resultados de trabajo de campo del proyecto COLCIENCIAS-Universidades EAFIT, de ANTIOQUIA y NACIONAL: “Erosión Costera en Antioquia: dinámica sedimentaria del golfo de Urabá durante los últimos 10000 años”, código 1216–452–21404, contrato 525–2008. Este proyecto financió los tiempos de participación del personal de EAFIT en la *Expedición Estuarina* y comparte sus logros.

Las correcciones y sugerencias de nuestros evaluadores, Dr. Juan Manuel Moreno Murillo y anónimo fueron fundamentales para mejorar la calidad y la presentación de este capítulo de socialización de resultados. A ellos nuestros mejores agradecimientos.

REFERENCIAS

- Agámez JF, Arrieta RM. 2005. *Interrelaciones entre Variables Climáticas y Desarrollo Erosivo en las Playas del Área urbana Municipio de Turbo Antioquia*. Tesis Ecólogo de Zonas Costeras. Programa Ciencias del Mar, Universidad de Antioquia, Turbo.
- Aristizábal O, Betancur J, 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.

- Asociación de Ingeniería Sísmica. 1988. *Estudio general de Amenaza Sísmica de Colombia*. Publicación Especial INGEOMINAS, Segunda edición. Bogotá.
- Bernal G, Montoya L, Garizábal CE, Toro M. 2005a. *La Complejidad de la Dimensión Física en la Problemática Costera en el Golfo de Urabá, Colombia*. *Gestión y Ambiente* 8(1): 123–135 p.
- Bernal G, Toro M, Montoya LJ, Garizábal CE. 2005b. *Estudio de la Dispersión de Sedimentos del Río Atrato y sus Impactos sobre la Problemática Ambiental Costera del Golfo de Urabá /Dinámica Oceanográfica del Golfo de Urabá y su Relación con la Dispersión de Sedimentos*. Medellín.
- Bird E. 1985. *Geomorphology of Changing Coastlines*. Scheeizerbartsche Verlagsbuch, Stuttgart.
- Bird E. 1993. *Submerging Coasts: The Effects of a Rising Sea Level on Coastal Environments*. John Wiley & Sons, Chichester, USA.
- Bird E. 2008. *Coastal Geomorphology, 2nd Edition*. John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, England.
- Caballero H. 1991. *Contribución al Análisis de Amenazas Geológicas en el Municipio de Necoclí (San Juan de Urabá–Arboletes)*. Universidad Nacional de Colombia –Sede Medellín.
- Carter RWG. 1991. *Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines*. Academic Press, London.
- Carvajal JH. 2001. *Amenazas Geológicas Asociadas al Volcanismo de Lodos*. Reporte INGEOMINAS. Cartagena.
- CORPOURABÁ-Universidad Nacional de Colombia. 1998. *Evaluación de Zonas de Erosión Crítica en el Litoral Caribe Antioqueño*. Reporte Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Medellín.
- Correa ID. 2006. *El Litoral Antioqueño, 137-149*. En: Hermelin M. (Ed.). 2006. *Geografía de Antioquia: Geografía Histórica, Física, Humana y Económica*. Fondo Editorial Universidad EAFIT. Medellín.
- Correa ID, Morton RA. 2006. *Coasts of Colombia*. Disponible en: <http://www.coastal.er.usgs.gov/coasts-colombia>. Visitado Junio 1 de 2010. Última actualización Marzo 10 de 2010.
- Correa ID, Morton RA. 2010. *Caribbean Coast of Colombia. 259–263*. En: Bird E (Ed.). 2010. *Encyclopedia of the World's Coastal Landforms*, Springer Science+Business Media B.V., Melbourne.
- Correa ID, Vernet G. 2004. *Introducción al Problema de la Erosión Litoral en Urabá (Sector Arboletes-Turbo), Costa Caribe Colombiana*. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 33: 5–26.
- De Porta J. 2003. *La Formación del Istmo de Panamá. Su Incidencia en Colombia*. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, 27(103): 191–216.
- Díaz JM, Díaz-Pulido G, Sánchez JA. 2000. *Distribution and Structure of the Southernmost Caribbean Coral Reefs: Golfo de Urabá, Colombia*. *Scientia Marina*, 64(3): 327–336.
- Duque-Caro H. 1980. *Geotectónica y Evolución de la Región Noroccidental Colombiana*. *Boletín Geológico*, 23(3): 437.
- Duque-Caro H. 1984. *Estilo Estructural, Diapirismo y Episodios de Acrecimiento del Terreno Sinú-San Jacinto, en el Noroccidente de Colombia*. *Boletín Geológico*, 27: 1–29.
- Duque-Caro H. 1990a. *El Bloque del Chocó en el Noroccidente Suramericano: Implicaciones Estructurales, Tectonoestratigráficas y Paleogeográficas*. *Boletín Geológico*, 31(1): 47–71.
- Duque-Caro H. 1990b. *Estratigrafía, Paleooceanografía y Paleobiogeografía de la Cuenca del Atrato y la Evolución del Istmo de Panamá*. *Boletín Geológico*, 31(1): 3–45.
- Estrada EA, Gil SM. 2005. *Análisis de las Condiciones Morfológicas Actuales como Indicadoras de la Evolución de la Flecha Litoral en la Actual Desembocadura del Río Turbo*. Tesis Ecólogo de Zonas Costeras. Programa Ciencias del Mar, Universidad de Antioquia, Turbo.
- Feyzullayev A. 2003. *Geological Conditions and Peculiarities of the Mud Volcanoes Formation*. The American Association of Petroleum Geologists. *Memoirs of the American Association of Petroleum Geologists, Annual Convention*, Salt Lake City, Utah.
- Franco E, Gómez JF. 1996. *Evolución de la Línea de Costa del Litoral Antioqueño. Aspectos Geomorfológicos. Sector Río Necoclí–Turbo*. Tesis Geólogo. Facultad Nacional de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

- González DA, Guarín FJ. 2003. *Evolución Geomorfológica de los Acantilados entre Arboletes (Antioquia) y la Desembocadura del Río Córdoba (Córdoba)*. Tesis Geología. Departamento de Geología, Universidad EAFIT, Medellín.
- Gutiérrez M. 2008. *Geomorfología*. Pearson Educación S.A., Madrid.
- Higgins GE, Sanders JB. 1967. *Report on 1964 Chatam Mud island, Erin Bay, Trinidad, West Indies*. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 51: 55–64.
- Holguín M. 1996. *Geomorfología y Evolución de la Línea de Costa del Litoral Antioqueño: Sector Río Necoclí–Arboletes*. Tesis Ingeniería Geológica. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia -Sede Medellín, Medellín.
- IDEAM -Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2001a. *Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. ServiGraphics, Bogotá, Colombia.
- IDEAM -Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2001b. *Vulnerabilidad y Adaptación de la Zona Costera Colombiana al Ascenso Acelerado del Nivel del Mar*. Santa Fé de Bogotá.
- IDEAM -Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2005. *Atlas Climatológico de Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial*. Santa Fé de Bogotá.
- IGAC -Instituto Geográfico Agustín Codazzi, INGEOMINAS -Instituto Colombiano de Geología y Minería. 2005. *Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano -Tomo I*. Geología. Santa Fé de Bogotá.
- INGEOMINAS -Instituto Colombiano de Geología y Minería. 1997. *Mapa general de Amenaza Sísmica*. Disponible en: http://seisan.ingeo Minas.gov.co/RSNC/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=62. Consultado 30 de junio de 2010.
- INGEOMINAS. 1998. *Geomorfología y aspectos erosivos del litoral Caribe colombiano*. Publicación Geológica Especial, 21: 1–114.
- INVEMAR -Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. 2003. *Definición de la Vulnerabilidad de los Sistemas Bio-geofísicos y Socioeconómicos debido a un Cambio en el Nivel del Mar en la Zona Costera Colombiana (Caribe, Insular y Pacífico) y Medidas para su Adaptación*. Reporte Programa Holandés de Asistencia para Estudios en Cambio Climático: Colombia. En: Vides MP (Ed.) Programa para Investigación Marina y Costera –GEZ-INVEMAR. Santa Marta, Colombia. VII Tomos, Resumen Ejecutivo y CD Atlas digital.
- INVEMAR -Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, CORPOURABA. 2003. *Diagnóstico, Zonificación y Definición de la Estructura Administrativa de Manejo de la Unidad Ambiental Costera del Darién, Caribe Colombiano Fase I. Caracterización y Diagnóstico*. Reporte. Santa Marta.
- INVEMAR -Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ. 2008. *Lineamientos y Estrategias de Manejo Integrado de la Unidad Ambiental Costera del Darién*. INVEMAR, Santa Marta.
- IPCC, Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 2007. *Cambio climático 2007: Informe de Síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. IPCC, Ginebra, Suiza.
- Keep F. 2000. *Monografía de Turbo*. Alcaldía de Turbo, Municipio de Turbo.
- Keller EA, Blodgett RH. 2004. *Riesgos naturales*. Pearson-Prentice Hall. Madrid.
- Kellett DH. 1995. *Atlas of Coastal Geomorphology and Zonality. Journal of Coastal Research Special Issue, 13: 1–286*.
- Martínez JN, Parrea E, París G, Forero CA, Bustamante M, Cardona OD. 1994. *Los sismos del Atrato medio 17 y 18 de octubre de 1992 Noroccidente de Colombia*. Revista INGEOMINAS, 4: 35–70.
- Martínez NJ, Robertson KG. 1997. *Variaciones Cuaternarias del Nivel del Mar y sus Implicaciones en las Amenazas Litorales del Caribe Colombiano*. IDEAM -1er Seminario Nacional sobre Manejo Integrado de Zonas Costeras, Bogotá.

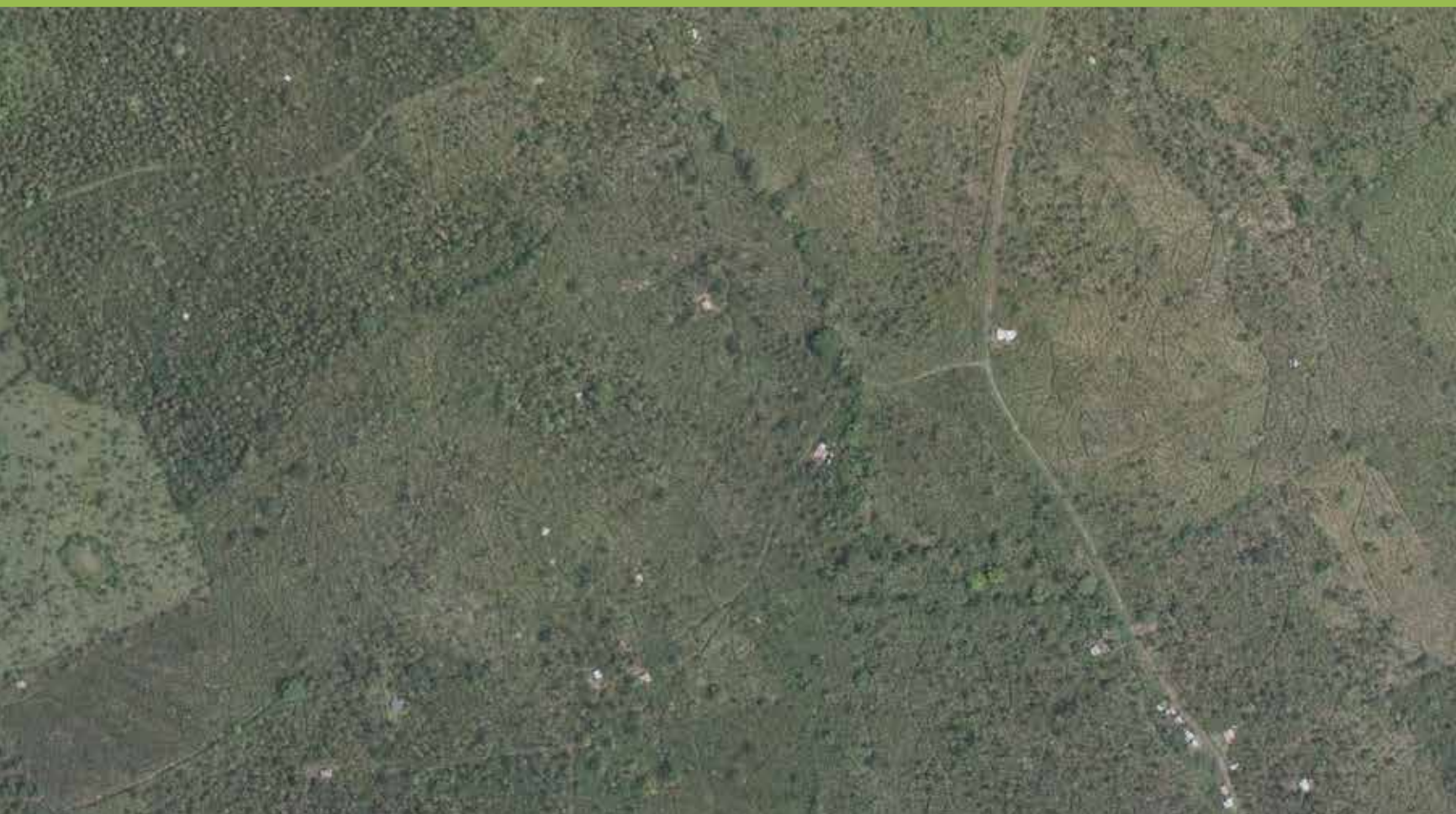
- Ménanteau L. 2007. *Geohistoria del Golfo*. En: INVEMAR, GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA y CODECHOCÓ (Eds.) *Atlas del golfo de Urabá: Una Mirada al Caribe de Antioquia y Chocó, Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR No. 12., Santa Marta*.
- Milkov AV. 2000. *Worldwide distribution of submarine mud volcanoes and associated gas hydrates*. *Marine Geology*, 167: 29–42.
- Muñoz V, Rodríguez C, Vásquez C. 1997. *Intrusión Salina en Acuíferos del Urabá Antioqueño*. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 12: 84–100.
- Nygren WE. 1950. *Bolivar Geosyncline of Northwestern South America*. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 34: 1998–2006.
- Osorio A, Molina LG, Osorio JD. 2016. *Caracterización hidrodinámica del oleaje local (sea) y de fondo (swell) en el Golfo de Urabá*. Capítulo 3, este volumen.
- Page WD. 1986. *Geología Sísmica y Sismicidad del Noroeste de Colombia*. Reporte ISA, INTEGRAL, Woodward & Clyde Consultants. Medellín.
- Raasveldt HC, Tomic A. 1958. *Lagunas Colombianas*. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales* 10(40): 175–198.
- Ramírez JE. 1976. *Diapiros del Mar Caribe colombiano*. *Memorias del I Congreso Colombiano de Geología*. INGEOMINAS, Bogotá, Colombia, 31-39 p.
- Rincón JI. 1994. *Identificación Preliminar de Zonas de Riesgo por Fenómenos Naturales del Corregimiento de Damaquiel en el Municipio San Juan de Urabá*. Reporte Secretaría de Desarrollo de la Comunidad -Sección FOPREVE.
- Summerfield MA. 1991. *Global Geomorphology -An Introduction to the Study of Landforms*. Addison Wesley Longman Limited, Essex.
- Thomas YF, García C, Cesaraccio M, Ménanteau L. 2007. *Contribución de la Hidrografía Histórica al Estudio de la Cinemática de los Fondos Marinos: Evolución del Golfo de Urabá, Colombia*. *Boletín Científico del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas -CIOH*, 25: 110–119.
- Universidad EAFIT, COLCIENCIAS. 2001. *Esquemas Geomorfológicos (escala 1:10000) del litoral antioqueño*. Proyecto Erosión Marina en el Litoral Antioqueño (sector Turbo-Arboletes). Código 12-16-09-024-99. 25 Planchas. Medellín.
- Universidad Nacional de Colombia. 2006. *Estudio de Impacto del Cierre de la Difluencia del Río León al Caño Tumaradó*. Medellín.
- Urrego LE, Molina E., Suárez JA, Ruiz HY, Polanía J. 2016. *Distribución, composición y estructura de los manglares del Golfo de Urabá*. Capítulo 4, este volumen.
- USGS -United States Geological Service. 2004. *Shuttle Radar Topography Mission, 1 Arc Second scene SRTM_w100n40*. University of Maryland, College Park, Maryland.
- Velásquez C, Rave JO. 1996. *Dinámica Costera y Geomorfología en el Golfo de Urabá Antioqueño*. Sector Boca Tarena -Espiga de Turbo. Tesis Geología. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente - Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia -Sede Medellín, Medellín.
- Vernette G. 1985. *La Plate-forme Continentale Caraïbe de Colombie (du Débauché du Magdalena au Golfe de Morrosquillo)*. Importance du Diapirisme Agileux sur la Morphologie et la Sédimentation. Tesis Université Bordeaux I, Bordeaux.
- Vernette G, Mauffret A, Bobier C, Briceño L, Gayet J. 1992. *Mud diapirism, fan sedimentation and strike-slip faulting, Caribbean Colombian Margin*. *Tectonophysics*, 202(2-4): 335-349.
- Viles H, Spencer T. 1995. *Coastal Problems: Geomorphology, Ecology and Society at the Coast*. Edward Arnold, London.
- Woodroffe CD. 1992. *Mangrove Sediments and Geomorphology*. En: Robertson AI, Alongi DM (Eds.). *Tropical Mangrove Ecosystems*. Coastal and Estuarine Studies, 41. American Geophysical Union, Washington D.C.





CAPÍTULO 3

Caracterización hidrodinámica
del oleaje local (SEA) y de fondo
(SWELL) en el golfo de Urabá



Caracterización hidrodinámica del oleaje local (SEA) y de fondo (SWELL) en el golfo de Urabá

Andrés F. Osorio^{1,2}, Luis G. Molina^{1,3} y Juan D. Osorio^{1,4}

**¹Grupo de investigación Oceanicos (Oceanografía e ingeniería costera),
Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Facultad de Minas,
Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, Antioquia, Colombia.
Carrera 80 #65-223.**

²afosorioar@unal.edu.co; ³lgmolinaf@unal.edu.co; ⁴jdosori0@unal.edu.co.

Resumen: En el golfo de Urabá (comprendido entre cabo Tiburón y punta Caribaná en el Caribe sur) se presentan condiciones propicias para el establecimiento de varios ecosistemas marinos y costeros; sin embargo, éstos se ven amenazados por procesos oceánicos naturales y por actividades antrópicas. Además, la ausencia de un plan de ordenamiento costero en el Golfo, ha influido en la proliferación de obras marinas y costeras, que en muchos casos terminan incrementando los procesos de erosión y sedimentación de zonas vecinas. Para atender la problemática de la zona es necesario desarrollar una solución integral que involucre, entre otros aspectos, el entendimiento de la hidrodinámica del oleaje en el Golfo apuntando a plantear alternativas sostenibles. Se propone en este estudio una metodología que permita caracterizar, por un lado el oleaje local (SEA), el cual es generado por la acción directa y continua del viento dentro del Golfo, y, por otro lado, el oleaje de fondo (SWELL) que se genera en el mar Caribe y que se propaga a través de la superficie del mar hasta el interior del Golfo. Esta caracterización se alcanzó a partir de información secundaria, mediciones de campo y modelaciones numéricas. Los resultados mostraron que el modelo SWAN (*Simulating Waves Near Shore*) se ajustó bien a las mediciones de oleaje realizadas en campo. Además se encontró que a lo largo del Golfo se presentan 2 zonas dominadas por diferentes tipos de oleaje. La zona 1 es dominada por oleaje tipo SWELL ($T_p > 7,5$ s), y se extiende desde el límite exterior del Golfo hasta el límite entre los deltas del río Atrato y río Turbo, destacándose los procesos de difracción y refracción, asociados con una reducción de las alturas de ola significativa (H_s) para condiciones medias de oleaje, que oscilan entre 1,6 m en punta Caribaná y 1,0 m en las inmediaciones de los deltas. La zona 2 es dominada fuertemente por oleaje tipo SEA ($T_p < 7,5$ s) y comprende a bahía Colombia, destacándose la disipación de la energía del oleaje de fondo, a medida que se propaga

hacia el interior del Golfo, que produce valores H_s que oscilan entre 0,8 m, saliendo de la influencia del mismo, y 0,4 m en bahía Colombia.

Abstract: In the Gulf of Urabá (stretching between Cabo Tiburón and Punta Caribaná in the Southern Caribbean) the natural conditions allow the establishment of various marine and coastal ecosystems; however, they are threatened by natural oceanic processes and human activities. Moreover, the lack of a coastal management plan for the Gulf, has promoted unplanned marine and coastal civil works, that commonly worsen the erosion and sedimentation issues in surrounding areas. In order to address these problems, it is necessary to develop a comprehensive framework for sustainable development involving, among other components, an understanding of wave dynamics into the Gulf. In this study, we showed a methodology to characterize the waves from SEA (generated by direct wind-fetch within the Gulf), and from SWELL (generated at Caribbean Sea and propagated into the Gulf). This characterization was achieved by collating secondary data, field measurements and numerical modeling. The results showed that the SWAN (*Simulating Waves Near Shore*) model fits well with wave measurements made in the field. Two zones dominated by different wave types were observed along the Gulf. The zone 1 was dominated by SWELL-type wave ($T_p > 7,5$ s), and extended from the outer area of the Gulf to the vicinity of the deltas of the Atrato River and the Turbo River. Diffraction and refraction influenced a reduction in significant wave heights (H_s), for average weather conditions ranging from 1,6 m at Punta Caribana, to 1,0 m near the deltas. The zone 2 was strongly dominated by SEA-type wave ($T_p < 7,5$ s) and it covered the entire area of the Colombia Bay. Dissipation of waves propagated into the Gulf, reduced SWELL's H_s , oscillating within the 0,8-0,4 m range in the entire area of the Bay.

INTRODUCCIÓN

Debido a su ubicación geográfica y a las características geomorfológicas del golfo de Urabá, se presentan en esta región condiciones propicias para la formación de varios ecosistemas marinos (e.g. parches coralinos y pastos marinos) y costeros (playas, manglares y estuarios). Estos ecosistemas se ven amenazados por procesos naturales como mares de leva, huracanes e inundaciones fluviales y, principalmente, por actividades humanas que se desarrollan en la zona; entre las que se destacan la pesca, la explotación de madera y el cultivo de banano a gran escala (CORPOURABA, 2003).

Por otra parte, la falta de un plan de ordenamiento costero en el Golfo hasta la primera década del siglo XXI, influyó en la proliferación de obras marinas y costeras, tales como espolones, rompeolas y dragados que atendieron problemas puntuales pero que aceleraron, en muchos casos, los procesos de erosión y sedimentación de zonas vecinas (Correa y Vernet, 2004).

Para atender la problemática ecológica y ambiental de la zona es necesario desarrollar una solución integral que involucre, entre otros aspectos, el entendimiento de la hidrodinámica del oleaje en el Golfo: apuntando a plantear alternativas sostenibles. Para ello, se propone en este estudio una metodología que permita caracterizar, por un lado el oleaje local (oleaje tipo *Sea*-SEA), generado por la acción directa y continua del viento sobre la superficie del agua, y, por otro lado, el oleaje de fondo (oleaje tipo *Swell*-SWELL), generado lejos de una zona de estudio y que se propaga a través de la superficie del mar sin estar sometido a la acción del viento (ROM, 1991).

El oleaje SEA, llamado también mar de viento, se forma y desarrolla en la superficie marítima, bajo la acción directa y continua del viento. Se generan olas elementales de altura, periodo, fase y dirección de propagación aleatorias e independientes, cuya interfase da lugar a un aspecto caótico de la superficie líquida. Este oleaje presenta, normalmente, oscilaciones muy apretadas, con periodos y longitudes de onda pequeños, aunque en una amplia gama de frecuencias.

El oleaje SWELL, o mar de fondo, ocurre cuando las olas abandonan el área de generación, y se propaga a través de superficies marítimas, sin estar sometido a la acción significativa del viento: atenuándose progresivamente hasta su completa extinción. Este oleaje presenta oscilaciones menos apretadas que el de tipo SEA, con periodos y longitudes de onda en una gama estrecha de frecuencias. Da lugar, en general, a un aspecto ordenado y regular de la superficie del mar.

Un espectro de banda estrecha se caracteriza por presentar un rango de frecuencias con contenido energético limitado, y es característico de estados de mar desarrollados (fuera de la zona de generación del oleaje), como por ejemplo el oleaje SWELL. Por el contrario, el espectro de banda ancha presenta una gran variedad de frecuencias y se corresponde con estados de mar más irregulares típicos de estados de mar de tipo SEA o "*fetch*" limitado.

Un "*estado del mar*" corresponde a la situación espacio-temporal, en la cual puede suponerse que las condiciones de oleaje se mantienen estables, tanto energética como estadísticamente. Normalmente se habla de "*estado del mar*" en una escala de tiempo horaria, y durante este estado se puede saber si el espectro de oleaje es SEA o SWELL utilizando los siguientes estadígrafos: altura de ola (H_s), periodo de pico (T_p) y dirección (q). El conocer cómo varía el espectro de oleaje y el "*estado de mar*" en el ciclo estacional, permite definir las condiciones de energía que están afectando los procesos costeros durante todo el ciclo estacional multianual.

Estudiar y entender el comportamiento de oleaje en la zona de estudio es muy importante por las siguientes razones: Por un lado, en el transporte de sedimentos (zonas de erosión y sedimentación) y en los fenómenos de inundación, es de vital importancia conocer claramente los parámetros estadísticos en el "*estado del mar*" (H_s , T_p y q); siendo particularmente importante tener en cuenta la direccionalidad y el tipo del oleaje, ya que las simplificaciones (condición de oleaje a partir

de datos secundarios o con procesos de medición y modelación poco rigurosos) y la escalaridad (no tener en cuenta la dirección del oleaje) provocan interpretaciones erróneas de los procesos costeros (erosión y/o acumulación de sedimentos), así como en los eventos de inundación. Ahora bien, es necesario conocer el “estado del mar” de la zona de estudio con el fin de dar las respuestas o soluciones más óptimas de las obras de protección costera (o cualquier estructura marítima), ante el embate del oleaje direccional.

Esta caracterización se alcanza a partir de información secundaria, mediciones de campo y modelaciones numéricas. Los resultados de este estudio contribuirán al fortalecimiento de la información para la comunidad científica, interesada

ANTECEDENTES

A nivel de la costa Caribe colombiana se han desarrollado diversos estudios de tipo hidrodinámico, enfocados a analizar la generación, comportamiento y aprovechamiento del oleaje. Entre los trabajos más importantes se encuentran el de Ortiz y Mercado (2006), quienes proponen un estudio preliminar sobre el impacto del oleaje de huracanes en la línea costera del Departamento del Atlántico, y el de Ortiz et al. (2008), quienes presentaron un estudio del oleaje generado por el huracán Joan en la costa Caribe colombiana, así como un modelo de viento de huracanes para reconstruir la climatología extrema de vientos y su posterior aplicación en un modelo de olas, como herramienta metodológica para estimar las olas de diseño; de acuerdo a los periodos de retorno de la zona. Otros trabajos a mencionar son: el estudio sobre la determinación del clima de oleaje medio y extremo en el Caribe colombiano (Agudelo et al., 2005); el estudio sobre modelos de generación de oleaje de viento (Montoya y Osorio, 2007); el estudio sobre la reconstrucción de cuarenta años de datos de oleaje en el mar Caribe colombiano, empleando el modelo WWIII™ y diferentes fuentes de datos (Osorio et al., 2009); y la modelación

en el comportamiento hidrodinámico en una zona de manglar, su impacto sobre este tipo de vegetación y la respuesta positiva de los mismos ante la influencia del oleaje; además será una herramienta muy importante para los entes gubernamentales con jurisdicción ambiental, gobernaciones, alcaldías, etc., en la toma de decisiones relacionadas con el uso de tierras, la ubicación de asentamientos humanos y las actividades agropecuarias para su sustento: las cuales afectan directa e indirectamente los manglares y otros bosques costeros, que podrían ser afectados por fenómenos de mares de leva. Esta investigación fue realizada en el marco del proyecto “Expedición Estuarina-golfo de Urabá, fase 1”, con fondos de la Gobernación de Antioquia y participación de investigadores de las universidades Nacional de Colombia, de Antioquia y EAFIT.

numérica de la evolución morfológica en el mar Caribe (Lonin y Escobar, 2009).

Las grandes extensiones de manglar existentes en el golfo de Urabá, además de ser parte de los diversos ecosistemas estratégicos que se desarrollan en esta zona costera, podrían cumplir una gran función en la regulación del comportamiento de los flujos hidrodinámicos que se forman en las costas, acrecentando de esta forma la importancia que presentan para esta zona del Caribe colombiano. Aunque hasta antes de la *Expedición* se habían realizado pocos estudios sobre el reconocimiento de estructura vegetal, biodiversidad y funcionalidad ecosistémica de los manglares en el golfo de Urabá, se pueden resaltar los trabajos desarrollados por Sánchez-Páez et al. (1997), Restrepo (2002) y CORPOURABA (2003). Estos han resaltado el gran desarrollo estructural con respecto al resto del Caribe colombiano, y han mostrado que la composición y diversidad de especies es diferente, mostrando similitudes con el Pacífico colombiano. Sin embargo, no se han realizado trabajos que relacionen la hidrodinámica costera con la distribución y estructura de los manglares en Colombia, tal como se ha hecho en otras partes del mundo.

Respecto a los estudios de tipo hidrodinámico realizados en el Golfo, se han desarrollado recientemente estudios enfocados a entender la dinámica oceanográfica del Golfo; abordando de forma particular los patrones de circulación y de transporte de sedimentos en esta zona, entre los cuales se destacan los siguientes: Montoya y Toro (2006) calibraron un modelo hidrodinámico para el estudio de los patrones de circulación en el golfo de Urabá, y su relación con la dispersión de sedimentos; Álvarez y Bernal (2007) presentaron una estimación del campo de transporte neto de sedimentos en el fondo de bahía Colombia, con

base en el análisis de tendencia del tamaño de grano. Sin embargo, es de notar que, aunque se han desarrollado temas con aportes significativos para el estudio de los sistemas de corrientes y sedimentos del Golfo, aún existen vacíos referentes al comportamiento del oleaje en esta zona.

En una búsqueda por analizar el comportamiento del oleaje en el golfo de Urabá, teniendo en cuenta la interrelación *bosque de manglar-oleaje*, se propone en el presente estudio caracterizar el oleaje local (SEA) y de fondo (SWELL) para las diferentes épocas climáticas de la zona.

MÉTODOS

El método de estudio empleado comprendió las siguientes etapas:

A. Recopilación de información secundaria:

Para definir la batimetría base del Golfo, se utilizó la información de las cartas náuticas elaboradas por el *Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH)*, complementada y actualizada por otras batimetrías elaboradas en zonas específicas del Golfo, y patrocinadas por *Buceos Industriales y Dragados de Urabá*. Se utilizaron los datos estadísticos de vientos por intervalos de magnitud para las 16 direcciones principales, registrados por la estación Turbo (Antioquia), propiedad del *International Station Meteorological Climate Summary (ISMCS)*, con una longitud de registro de 35 años (Enero/1949 – Mayo/1984); la cual estuvo ubicada en el sector de punta Las Vacas en el municipio de Turbo, Antioquia (figura 3.1). Igualmente, se utilizó la serie histórica de 55 años (1951–2005) de registros de los huracanes que han ocurrido en el mar Caribe en el punto de coordenadas 9,0°N – 77,0°W (figura 3.1, punto rojo), y la serie sintética de oleaje de 30 años (Enero/1979 – Diciembre/2006) a resolución horaria para el Caribe generada por el modelo SWAN (*Simulating Waves Near Shore*) (Booij et al., 1999), ubicada en el punto de coordenadas 77,10°N – 8,6°W (figura 3.1, punto amarillo).

B. Mediciones de campo:

Se realizaron dos campañas de campo (noviembre de 2009 y febrero de 2010), en las épocas climáticas que

caracterizan la zona de estudio. La época húmeda (abril-noviembre) se caracteriza por vientos débiles y de dirección variable, aunque con predominio de dirección sur, y la época seca (diciembre-marzo) se caracteriza por vientos fuertes y constantes, provenientes del norte principalmente. Durante las campañas se tomaron simultáneamente registros de magnitud y dirección del viento, oleaje escalar y direccional en cuatro puntos distribuidos a lo largo del Golfo: Capurganá, Necoclí, Turbo y bahía Colombia (figura 3.1, cuadros rojos con bandera).

Para la ubicación de los sitios de muestreo, se usó un GPS 76CSx Garmin (figura 3.2a). Para medir la magnitud y dirección del viento, se utilizaron tres estaciones meteorológicas DAVIS Vantage Pro (figura 3.2b). Para medir el oleaje, se utilizaron los sensores de presión Aquadopp Current Profiler (ADCP) (figura 3.2c) (propiedad de la Pontificia Universidad Javeriana), el Aquadopp Current Meter (ADCP) (figura 3.2d) (propiedad de UNAL-UDEA), y el Midas WTR (figura 3.2e) (propiedad de la UNAL), y el Oleómetro WTR-9 (figura 3.2f) (propiedad del CIOH).

También se realizó una toma de muestras de sedimentos del fondo y levantamientos topo-batimétricos, en cada uno de los puntos de medición mencionados anteriormente, con una draga de Ekman (figura 3.2g) y una ecosonda Hummingbird Fishfinder 525 (figura 3.2h), respectivamente.

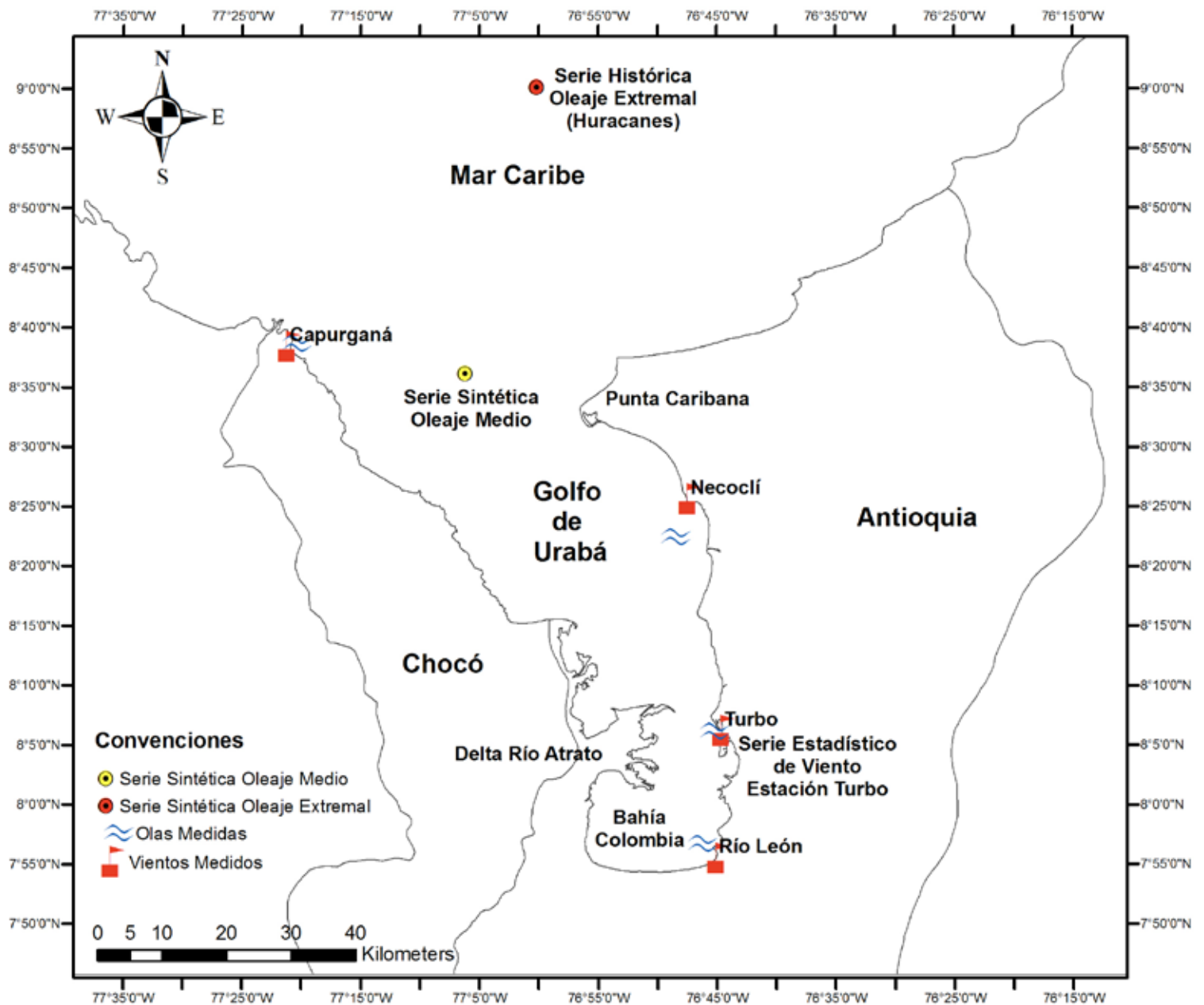


Figura 3.1. Distribución de los equipos para medir el oleaje y los vientos a lo largo del golfo de Urabá.

C. Modelación numérica:

Las simulaciones numéricas se realizaron con el modelo de oleaje SWAN (*Simulating Waves Near Shore*) (Booij et al. 1999). Este modelo incluye ecuaciones que propagan el oleaje SWELL, genera oleaje SEA producido por el viento local, tiene en cuenta los efectos de la fricción por el fondo y representa adecuadamente los procesos de transformación del oleaje (refracción, difracción, asomeramiento y disipación por rotura).

El modelo se utilizó para determinar el régimen medio de oleaje, donde se generó una serie sintética de 27 años (enero/1979 – diciembre/2006) a resolución horaria para el Caribe, y se obtuvo la serie de oleaje (altura de ola significativa – H_s , periodo de pico – T_p , y dirección predominante – Dir), en el punto de coordenadas $77,10^{\circ}N - 8,6^{\circ}W$ (figura 3.1, punto amarillo). También se implementó el modelo numérico en el Golfo, donde se llevaron a cabo los análisis de sensibilidad al tamaño de celda y se determinó la importancia relativa de los oleajes SEA y SWELL en el dominio de cálculo.



A.



B.



C.



D.



E.



F.



G.



H.

Figura 3.2. a) GPS 76CSx Garmin. b) Estación Meteorológica DAVIS Vantage Pro. c) Sensor de presión ADCP-PUJ. d) Sensor de presión ADCP-UNAL-UDEA. e) Sensor de presión Midas WTR-UNAL. f) Sensor de presión WTR 9-CIOH. g) Draga de Ekman. h) Ecosonda Hummingbird Fishfinder 525.

D. Método integrado para la determinación de los regímenes de oleajes SEA y SWELL:

En la figura 3.3 se presenta un diagrama resumido del método integrado utilizado.

1. Primero se efectuó la calibración y validación del modelo SWAN, con el objetivo de verificar que el modelo representa adecuadamente el oleaje medido en campo en las diferentes épocas climáticas.

2. Posteriormente, se determinó el régimen medio y extremal de viento con la información de la estación Turbo; de estos regímenes se seleccionaron los casos de simulación de viento que definen los regímenes medio y extremal de oleaje local.
3. Finalmente, se utilizó la serie sintética de 30 años de oleaje en la entrada del Golfo, generada por Ortega (2010) (figura

3.1, punto amarillo), y las alturas de ola producidas por el paso de huracanes por el mar Caribe (figura 3.1, punto rojo), para

determinar los casos de simulación que permitieran reconstruir los regímenes medio y extremal de oleaje de fondo en el Golfo.



Figura 3.3. Esquema del método empleado para la determinación de los regímenes de SEA y SWELL en el golfo de Urabá.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Vientos medidos:

A partir de los registros de viento en cada una de las estaciones meteorológicas, se construyeron las rosas de viento y el ciclo diurno; considerando las dos épocas climáticas en las cuales se realizaron cada una de las campañas de campo (época

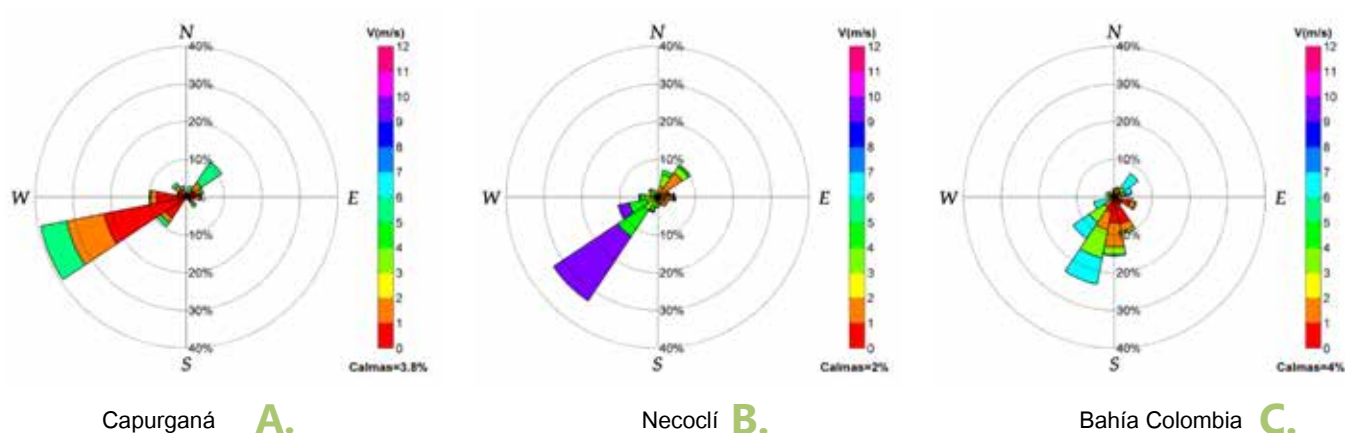
húmeda – época seca 2009–2010). Para la época climática húmeda se consideraron los datos de viento (magnitud y dirección) registrados durante los meses octubre y noviembre de 2009; mientras que para la época seca se tomaron los vientos registrados durante el mes de febrero de 2010 (figuras. 3.4, 3.5).

Para Capurganá, la dirección predominante del viento ocurrió durante el 40% del tiempo del Oeste-Sur-Oeste (WSW), con magnitudes máximas registradas de 5,4 m/s (figura 3.4a). Igualmente, el ciclo diurno de los vientos se caracterizó por tener vientos débiles (inferiores a 1,0 m/s), alcanzando los valores máximos entre las 12:00 p.m. y las 2:00 p.m. (figura 3.4d).

Para Necoclí, los vientos provinieron principalmente del Sur-Oeste (SW), con magnitudes máximas registradas de 9,4 m/s (figura 3.4b). El ciclo diurno presentó vientos con velocidades máximas

promedio del orden de los 3,8 m/s hacia las 10:00 a.m. (figura 3.4d). Para bahía Colombia, los vientos provinieron principalmente del Sur-Sur-Oeste (24% del tiempo), con magnitudes máximas registradas de 6,3 m/s (figura 3.4c). El ciclo diurno estuvo caracterizado por vientos con velocidades máximas promedio del orden de los 2,0 m/s hacia las 10:00 a.m. (figura 3.4d). Un aspecto importante que cabe destacar es que las series de vientos medidas para Necoclí y bahía Colombia presentaron la misma tendencia del viento a lo largo del día. Además, otro aspecto importante fue cómo, al final de la tarde en las estaciones de Necoclí y Capurganá, las

ÉPOCA HÚMEDA



Ciclo Diurno - Época Húmeda **D.**

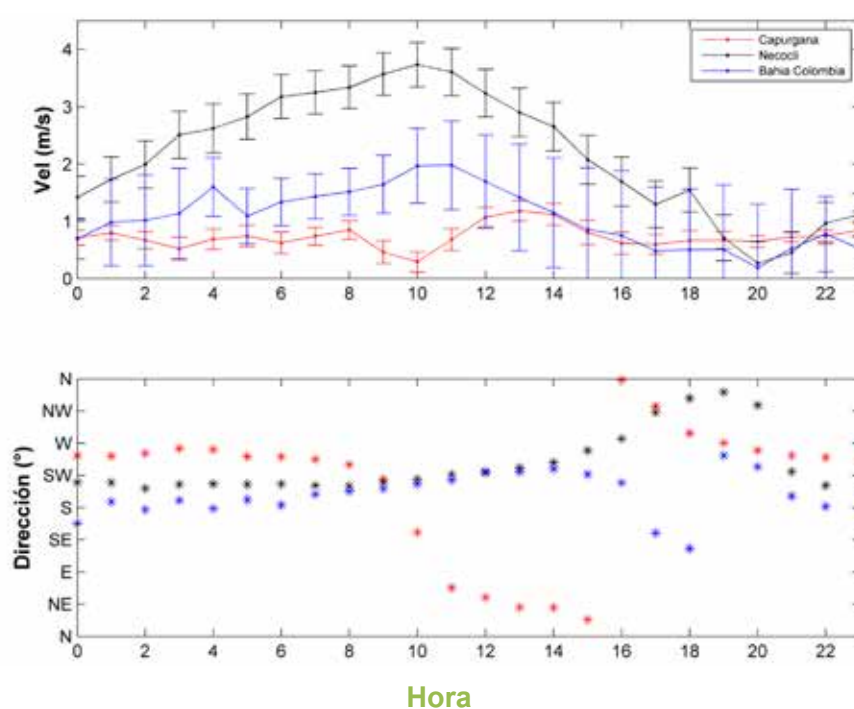


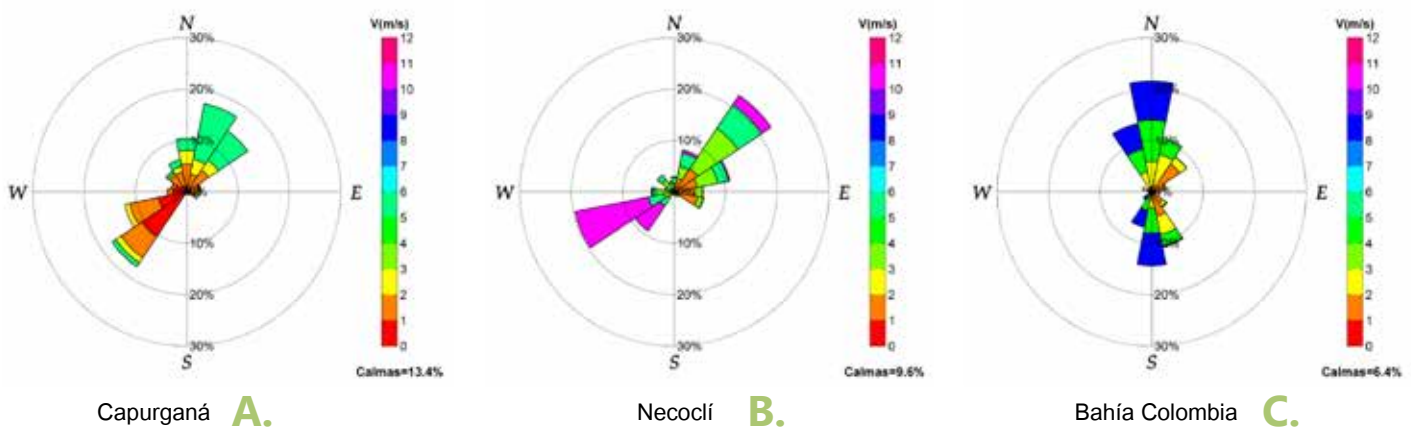
Figura 3.4. Rosas de vientos y ciclo diurno de la velocidad y la dirección para la época húmeda en el golfo de Urabá.

direcciones del viento intentaron rular desde Sur (S) y Sur-Oeste (SW) hacia Norte (N).

En la figura 3.5d, se aprecia para la época seca en Capurganá, un ciclo diurno caracterizado por vientos que alcanzan los 2,0 m/s hacia las 12:00 p.m. La dirección predominante del viento fue, en un 18% del tiempo, proveniente del Nornoreste (NNE) con magnitudes máximas registradas de 5,8 m/s (figura 3.5a). En Necoclí, el viento en un día promedio presentó velocidades máximas promedios del orden de los 2,4 m/s a las 8:00 p.m. (figura 3.5d). La dirección predominante del viento provino en un 40% del Nornoreste (NNE),

Noreste (NE) y Estenoreste (ENE), aunque fue destacable el 20% del tiempo del Oeste-Sur-Oeste (WSW); con magnitudes máximas registradas de 11,2 m/s (figura 3.5b). En cuanto a bahía Colombia, los vientos durante el día alcanzaron velocidades máximas promedio del orden de los 1,8 m/s a las 7 p.m. (figura 3.5d). La dirección del viento para esta época climática provino del Norte en un 23% del tiempo, con magnitudes máximas registradas de 8,9 m/s (figura 3.5c). Este régimen intra-anual de vientos coincide con el paso de la *Zona de Convergencia Inter-Tropical* por el Caribe Colombiano (Andrade, 1993).

ÉPOCA SECA



Ciclo Diurno - Época Seca **D.**

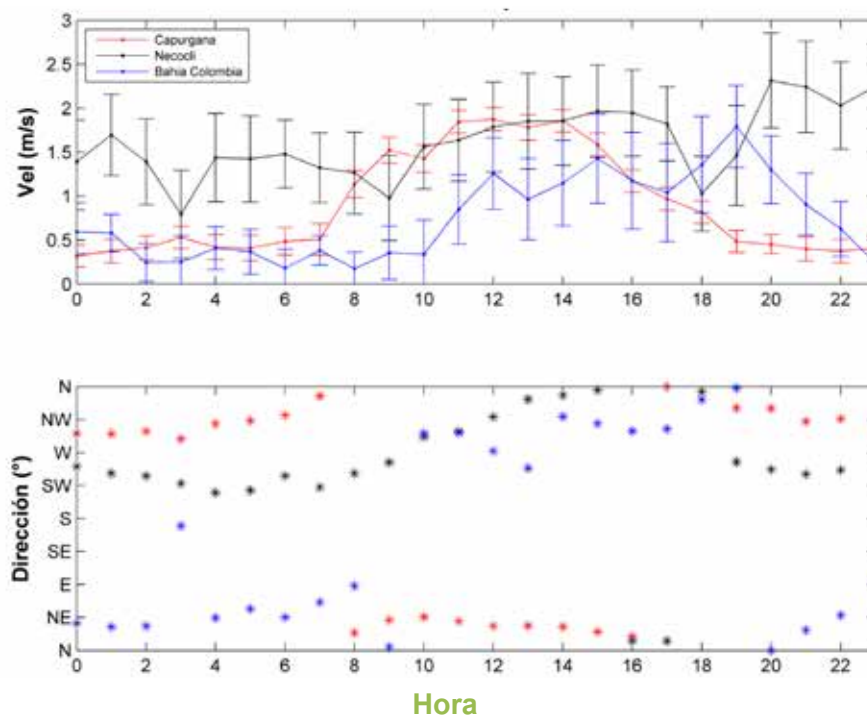


Figura 3.5. Rosas de vientos y ciclo diurno de la velocidad y la dirección para la época seca en el golfo de Urabá.

B. Oleaje medido versus vientos medidos:

Los resultados de las mediciones simultáneas de las olas y vientos registrados durante las 2 campañas de campo en cada época climática (época húmeda-época seca), se presentan en las figuras 3.6, 3.7 y 3.8.

En la región norte y noroeste del Golfo (Capurganá), el oleaje, a pesar de tener cierta influencia por momentos de oleaje SEA (figura 3.6, recuadro rojo), donde las olas crecieron y decrecieron de acuerdo con la magnitud de los vientos, presentando

periodos pico de 8 s; el oleaje medido estuvo dominado fuertemente por el oleaje SWELL (figura 3.6, recuadro negro), donde se observó un comportamiento independiente entre las olas y vientos medidos en campo, presentando periodos mayores (entre 9 y 12 s).

En Necoclí, región nororiental del Golfo, se observa que el oleaje medido en campo tiene influencia tanto de oleaje tipo SEA, como de tipo SWELL. La influencia del oleaje local se observó en el comportamiento recíproco entre las olas y los

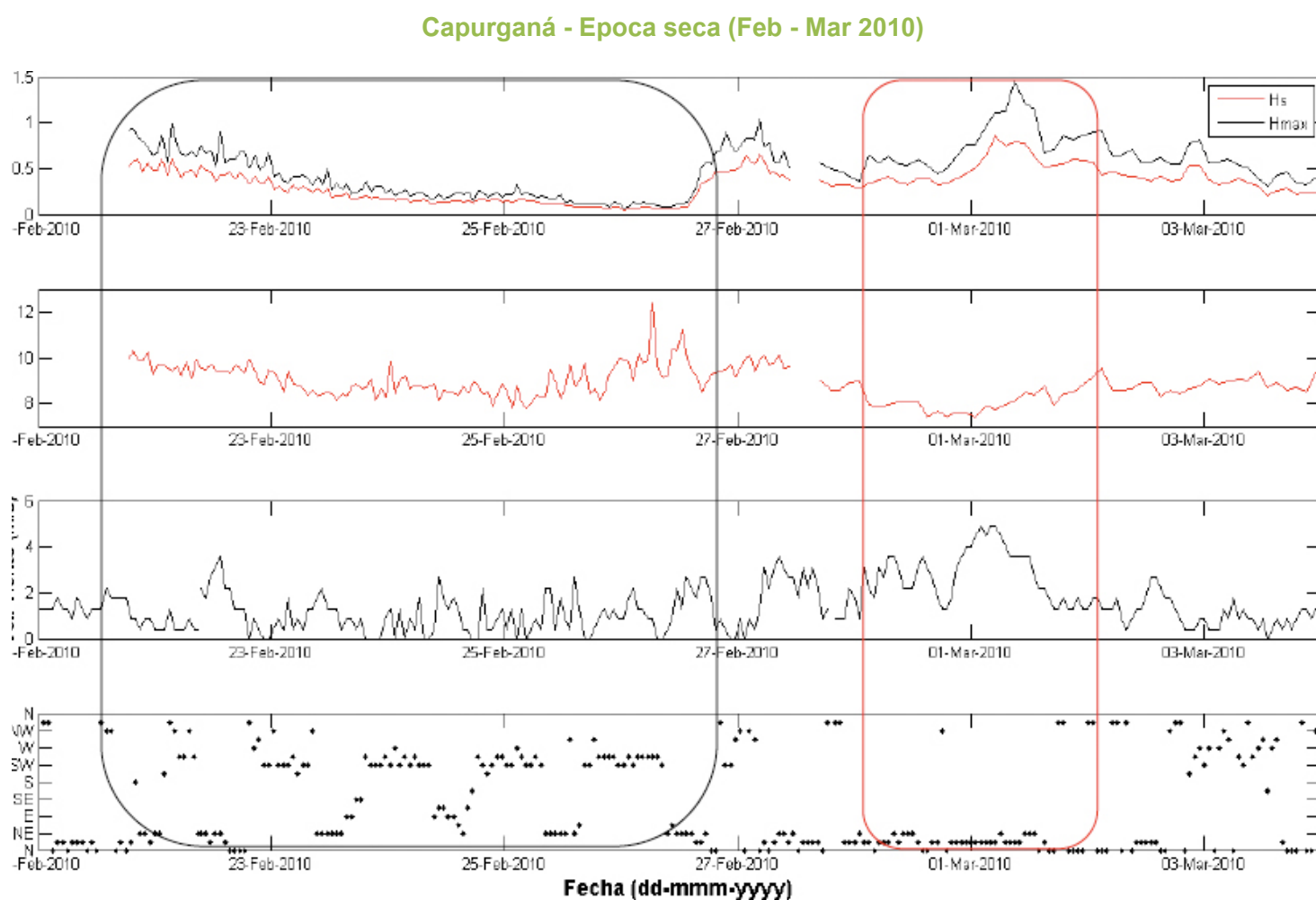


Figura 3.6. Comparación de las mediciones de campo simultáneas de olas (serie de altura de ola significativa (Hs) y periodo) vs. Viento (serie de magnitud y dirección del viento), para la zona de Capurganá. Recuadro rojo: influencia de oleaje local (SEA). Recuadro negro: influencia de oleaje de fondo (SWELL).

vientos medidos; es decir, que las olas crecieron y decrecieron de acuerdo a la magnitud de los vientos medidos (figura 3.7, recuadro rojo), con periodos de 5 s, mientras que el oleaje de fondo (SWELL) mostró su dominancia en el comportamiento independiente entre las olas y vientos medidos en campo, con periodos de 4–6,5 s (figura 3.7, recuadro negro, línea continua). Además, se observó un aumento del oleaje al final de la serie, con alturas de ola significativa hasta de 1 m y periodos de pico hasta de 7 s; sin embargo, no se observó alguna relación con el incremento de

vientos, lo que indicó que podrían estar asociados también a oleaje de SWELL (figura 3.7, recuadro negro, línea punteada). Este comportamiento del oleaje en esta zona pudo estar asociado a su ubicación geográfica respecto al golfo de Urabá.

El oleaje en bahía Colombia estuvo dominado por oleaje SEA, debido al comportamiento recíproco entre las olas y los vientos medidos (figura 3.8, recuadro rojo); es decir, las olas crecieron y decrecieron de acuerdo a la magnitud de los vientos medidos, presentando periodos pico de 5 s.

Necocli - Epoca seca (Feb - Mar 2010)

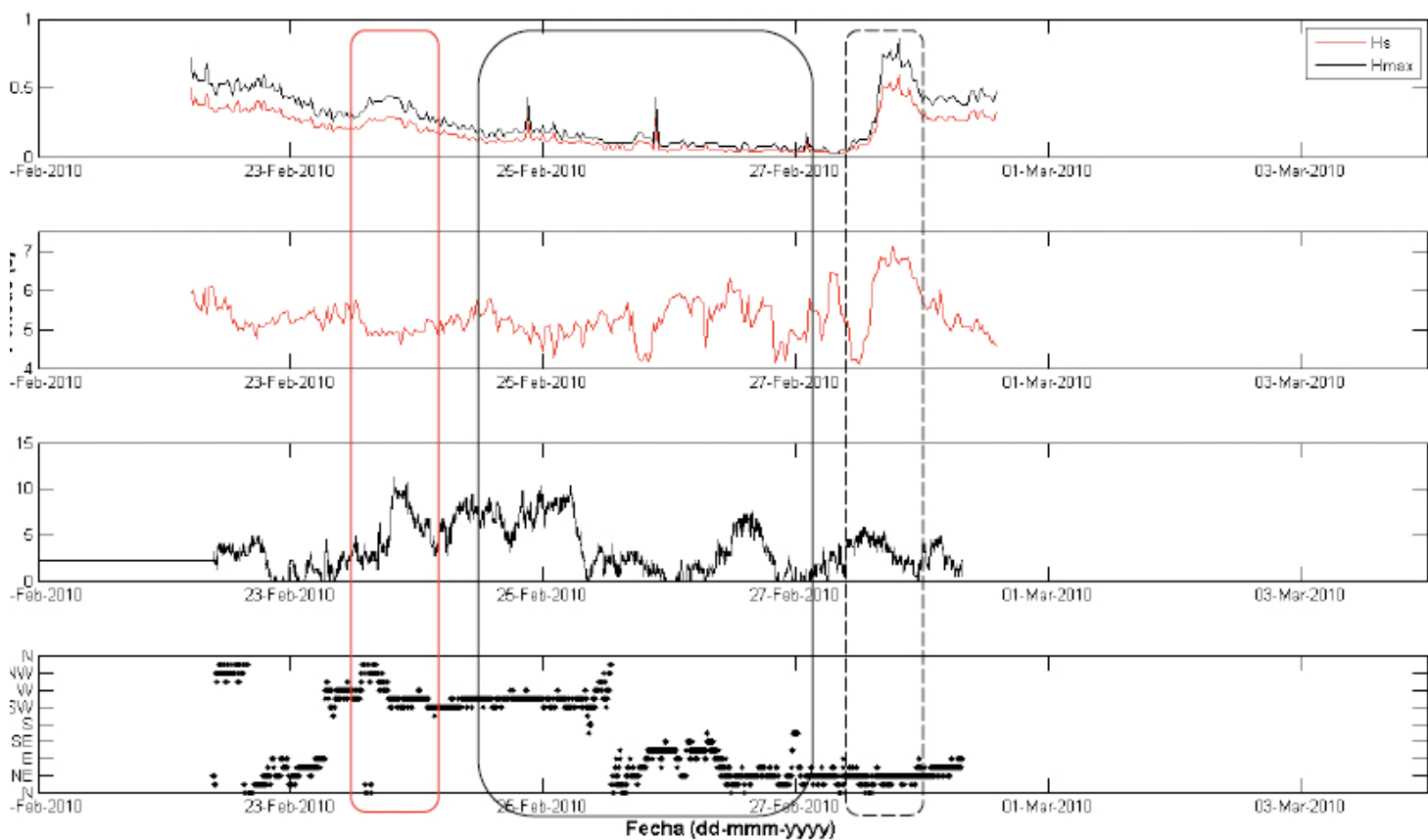


Figura 3.7. Comparación de las mediciones de campo simultáneas de olas (altura de ola significativa - H_s y periodo) vs. Vientos (magnitud y dirección), para la zona de Necocli. Recuadro rojo: influencia de oleaje local (SEA). Recuadro negro: influencia de oleaje de fondo (SWELL).

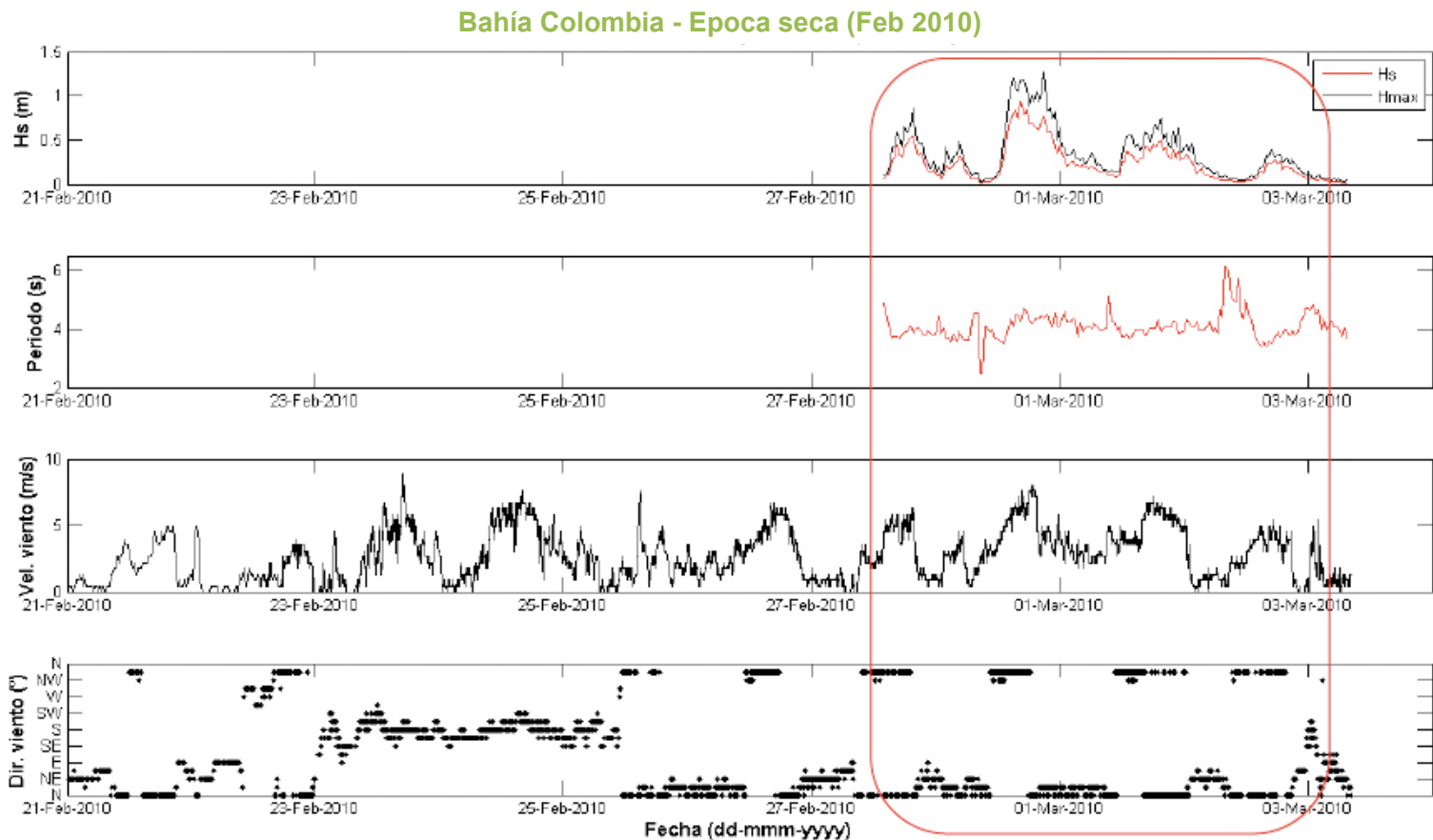


Figura 3.8. Comparación de las mediciones de campo simultáneas de olas (serie de altura de ola significativa (H_s) y periodo) vs. vientos (serie de magnitud y dirección del viento), para la zona de bahía Colombia. Recuadro rojo: influencia de oleaje local (SEA).

C. Oleaje medido versus vientos medidos

-Periodo en común:

La figura 3.9 presenta el registro común de oleaje (altura significativa de ola y periodo) y viento (magnitud y dirección) para las tres zonas de estudio. Se destacó la presencia de oleaje SEA en bahía Colombia, donde el viento juega el papel principal en la generación de oleaje; caracterizado por periodos de 4 s. Por otro lado, Capurganá presentó la condición contraria, en la cual no se tiene una correspondencia entre el viento y las magnitudes de altura de ola, siendo este comportamiento característico de un oleaje SWELL, con periodos de 10 s.

Necoclí presentó una condición intermedia en cuanto a magnitud y dirección, a pesar de contar

con registros de viento muy semejantes a los presentados en bahía Colombia, con eventos de oleaje SEA, cuando el viento y las alturas de ola se correspondieron, y cuando, sin importar las características del viento, el oleaje siguió un comportamiento diferente.

Esta situación apoya la hipótesis del dominio de 2 tipos de oleaje en el golfo de Urabá. Un oleaje SWELL, presente en las zonas cercanas al exterior del Golfo, como Capurganá, y uno SEA, presente en las zonas ubicadas al interior, como Necoclí y bahía Colombia. Sin embargo, en Necoclí también se presenta oleaje tipo SWELL, debido a su ubicación geográfica, ya que por estar cerca a los límites exteriores del Golfo, aún tiene influencia de dicho oleaje (figuras 3.7, 3.9).

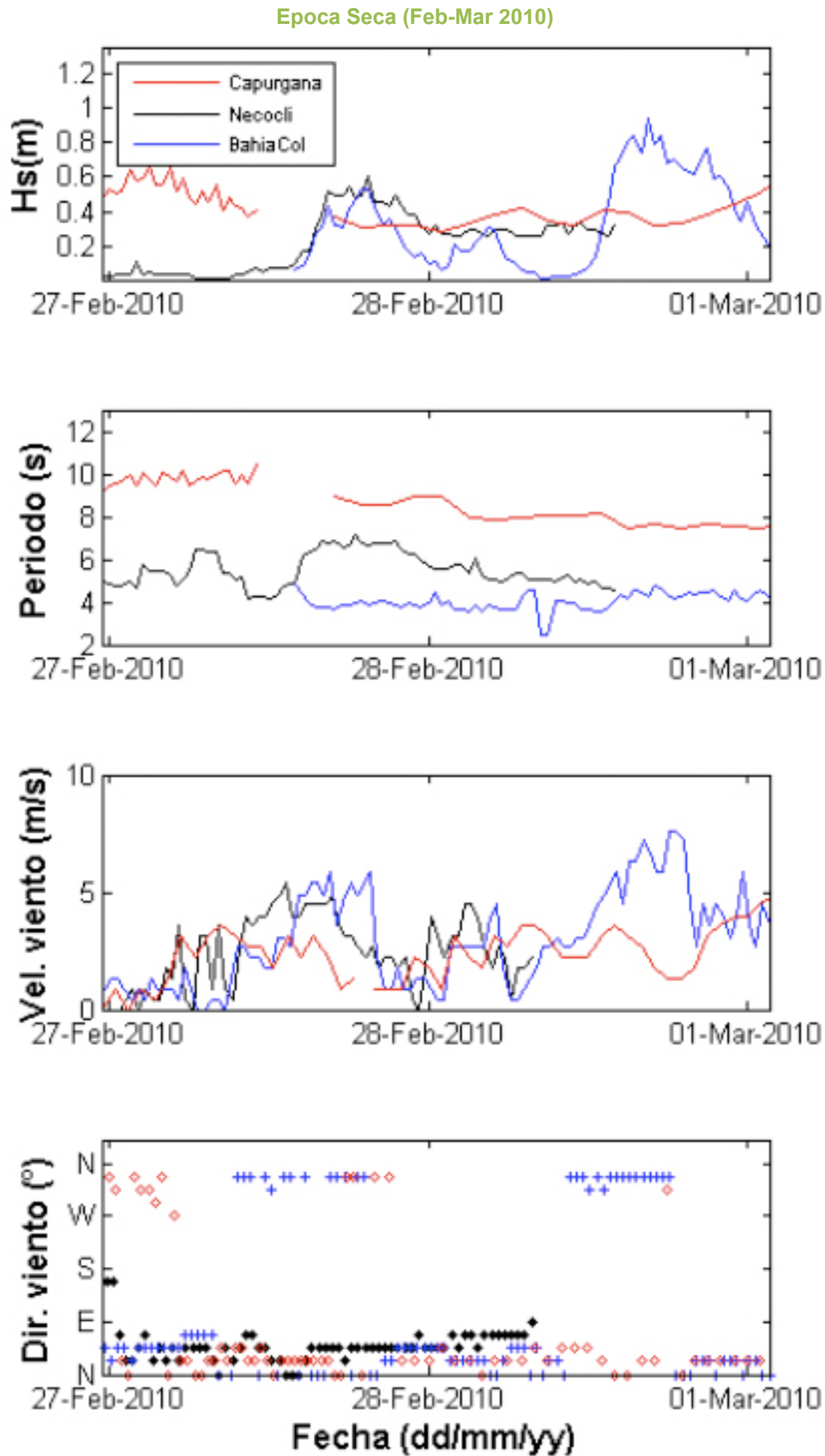


Figura 3.9. Comparación de las mediciones de campo simultáneas de olas (serie de altura de ola significativa (Hs) y periodo) vs. vientos (magnitud y dirección), para las 3 zonas (Capurganá, Necocli y bahía Colombia) durante el periodo de medición común.

D. Calibración:

xtender el dominio de simulación hasta una zona donde se tuviera algún punto que contuviera dicha información. La coordenada de los puntos más cercanos a la zona de estudio donde se contaba con información de oleaje, fue en la coordenada $8,6^{\circ}\text{N} - 77,10^{\circ}\text{W}$, punto en el cual se tenía la serie sintética de 30 años de registro generada por Ortega (2010): utilizada para caracterizar el régimen medio de oleaje en el Golfo, y para caracterizar el régimen extremal de oleaje; se utilizó la serie histórica de 56 años (1951–2005) de registros de los huracanes que han ocurrido en el mar Caribe en el punto de coordenadas $9,0^{\circ}\text{N} - 77,0^{\circ}\text{W}$. Por estas razones, se tomó la decisión de hacer una ejecución general del golfo de Urabá, y se optó trabajar para las simulaciones posteriores, con celdas cuadradas de 200 m x 200 m para la malla de cálculo.

Ahora bien, para poder caracterizar el régimen medio y extremal de vientos del Golfo, se utilizaron los datos estadísticos de vientos por intervalos de magnitud para las 16 direcciones principales, registrados por la estación Turbo (Antioquia), propiedad del *International Station Meteorological Climate Summary* (ISMCS), con una longitud de registro de 35 años (Enero/1949 – Mayo/1984); la cual estuvo ubicada en el sector de punta Las Vacas.

De otra parte, para ajustar la calibración del modelo y entender los resultados obtenidos del mismo, fue necesario conocer la influencia del oleaje de fondo (SWELL) y oleaje local (SEA) a lo largo del golfo de Urabá.

A lo largo del golfo de Urabá, se presentaron dos zonas dominadas por diferentes tipos de oleaje, gracias a la particularidad de los vientos y el oleaje presente en la zona, ilustradas en las figuras anteriores. La zona uno (1) fue dominada fuertemente por oleaje SWELL, que va desde el límite entre Capurganá y punta Caribaná, y

se extendió hasta los deltas de los ríos Atrato y Turbo. La zona dos (2) fue dominada fuertemente por oleaje SEA, que comprendió bahía Colombia. La zona uno (1), dominada por las condiciones de SWELL, podría responder a los oleajes que vienen desde el Caribe, y estarían sometidos a procesos de transformación (refracción, difracción, asomeramiento, etc.) al interior del Golfo; los cuales dependen exclusivamente de sus características geomorfológicas y batimétricas, y no del viento presente en la zona. Las características geomorfológicas más representativas, que juegan un papel fundamental en la transformación del oleaje del Golfo, son: punta Caribaná, ubicada en el extremo Norte del Golfo; el delta del río Atrato, ubicado al extremo Suroccidental del mismo; y el delta del río Turbo, ubicado al extremo Suroriental. Dichas formaciones son las que dominan y modifican el oleaje de esta primera zona. Por otra parte, las batimetrías extraídas de las cartas náuticas (figura 3.10) demostraron que, a lo largo del Golfo, existe un canal de acceso natural con profundidades que van desde 20 m, al interior del Golfo, hasta 70 m, al exterior del mismo. Debido a que el condicionante correspondió a las características geomorfológicas y batimétricas de la zona, una primera aproximación a la modelación del oleaje, propagado al interior del Golfo para esta zona, no requirió calibrar un modelo de generación de oleaje de viento.

Por otro lado, la zona dos (2) que correspondió al sector de bahía Colombia, está dominada por los vientos locales, por lo que el modelo requirió ser calibrado. Para la calibración de esta zona, se utilizaron las series de vientos y olas medidas durante la campaña de la época seca (Febrero 2010 – Marzo 2010) en bahía Colombia.

La figura 3.11 (panel inferior) representa el oleaje medido (línea negra continua) *versus* el modelado (línea roja discontinua) en el proceso de calibración, entre el 27 de febrero y el 3 de marzo de 2010 en bahía Colombia; y demostró una correspondencia

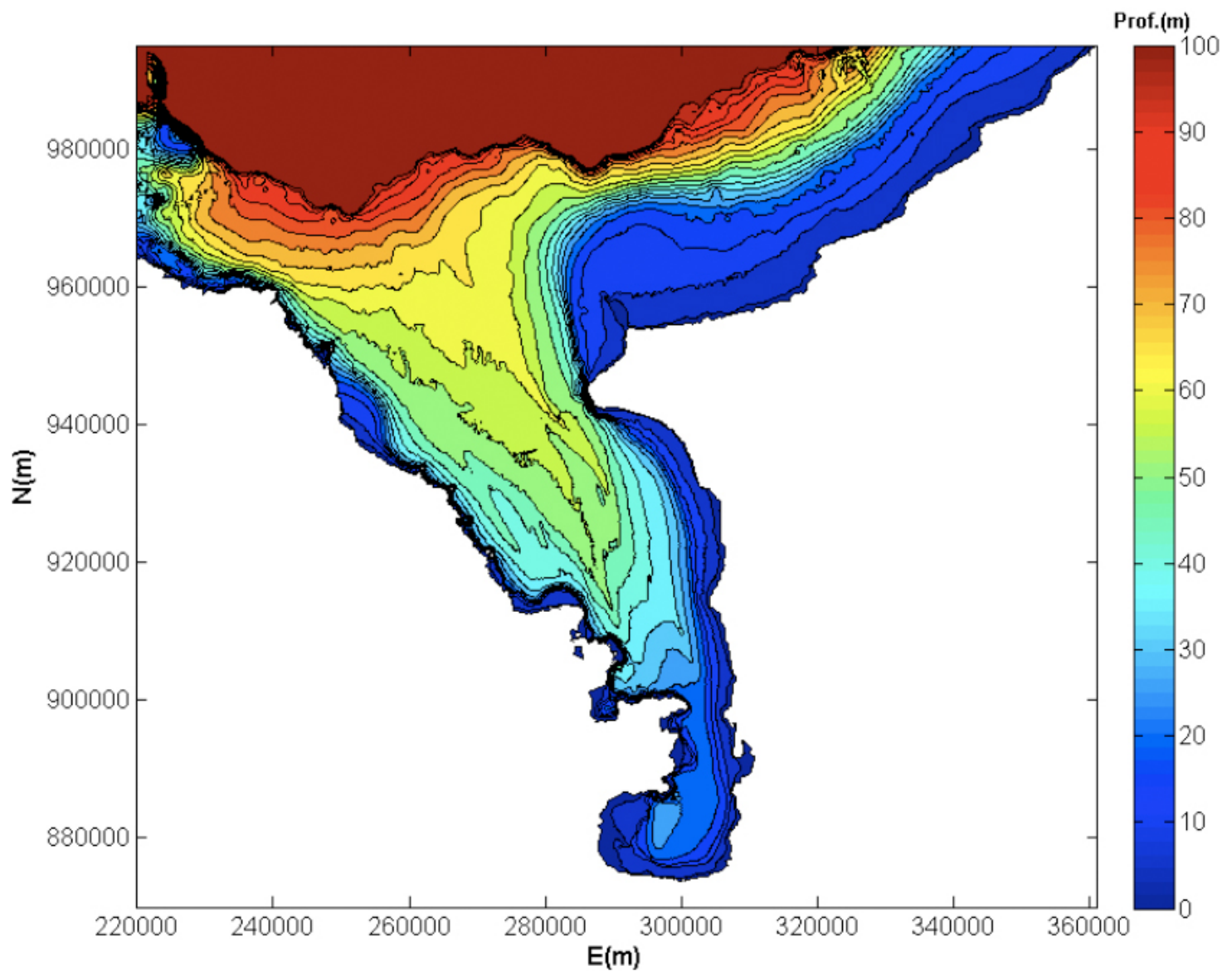


Figura 3.10. Modelo batimétrico golfo de Urabá generado por los autores con base en información secundaria (ver sección de métodos).

entre las dos series, con un error cuadrático medio (ECM) de 0,13 y un coeficiente de correlación (r) de 0,82. Se observó, además, la fuerte dependencia del oleaje medido con la serie de vientos (figura 3.11, panel superior), indicando que gran parte del oleaje generado en el interior del Golfo correspondió a oleaje SEA, tal como se comentó anteriormente.

Sin embargo, en un futuro próximo se debe trabajar en la calibración y validación del modelo para todas las zonas del Golfo, con el fin de poder representar de manera aproximada el comportamiento del oleaje de las distintas zonas, teniendo en cuenta los efectos combinados de los oleajes SEA y SWELL.

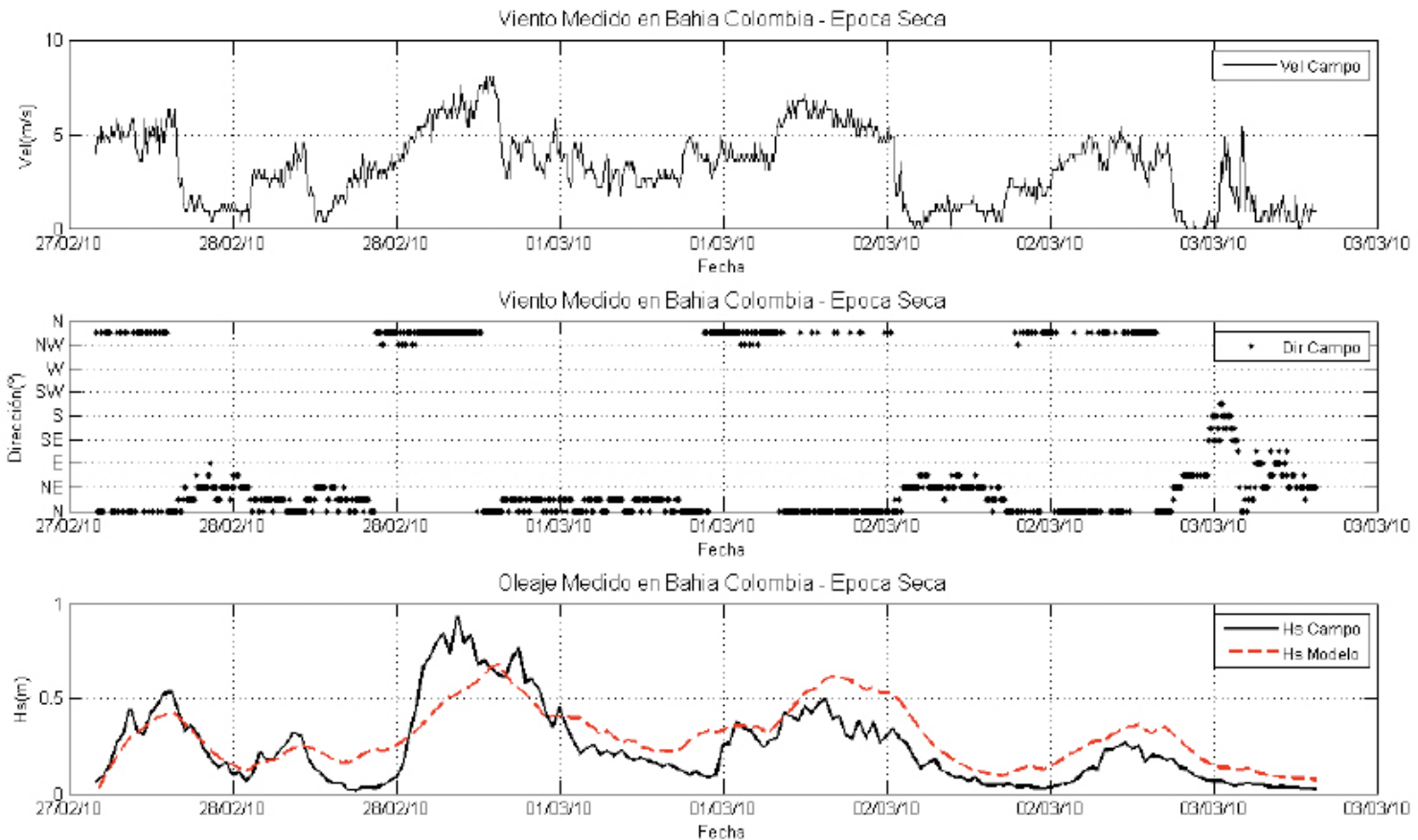


Figura 3.11. Evolución temporal del viento (panel superior) y el oleaje medido en campo versus el oleaje modelado (panel inferior), durante la época seca (Febrero – Marzo de 2010) en el sector de bahía Colombia.

E. Análisis de los regímenes medio y extremal de oleaje SEA y SWELL:

Con base en los pasos contemplados en el método integrado (figura 3.3), se determinaron los regímenes medio y extremal de oleaje tipo SEA y SWELL, a partir de los cuales se definieron los diferentes casos de modelación para cada uno de los regímenes.

Régimen medio y extremal de oleaje SEA (Paso 2 del método integrado): Para seleccionar los casos de propagación del régimen medio de vientos, se halló la frecuencia de ocurrencia de esta variable para las dos épocas climáticas intra-anales, y que caracterizan la zona de estudio. Estas épocas son: la época seca (Diciembre – Marzo), que se caracteriza por vientos fuertes y constantes provenientes del Norte (Alisios del Norte); y la época húmeda (los demás meses del año), que se caracteriza por vientos variables, aunque con predominio de dirección del Sur.

Para cada época se seleccionaron las direcciones del viento con probabilidad de ocurrencia alta: de tal forma que dicho conjunto de direcciones representara, adecuadamente, la variabilidad del viento de la época. Para la época seca se seleccionaron las direcciones N, NNW y NW, cuya probabilidad, sumada a los periodos de calma (periodos de velocidad de viento $V = 0$ m/s.), representó el 87% de todos los eventos de viento registrados para esta época del año. Para la época húmeda, se seleccionaron las direcciones N, NNW, NW, S y SW, cuya probabilidad, sumada a los periodos de calma, representó el 88% de los vientos registrados para esta época del año.

Las tablas 3.1 y 3.2, presentan la probabilidad de ocurrencia del viento en la estación Turbo para las épocas seca y húmeda.

En cuanto a la selección de los casos para determinar el régimen extremal de vientos, se determinaron los

Tabla 3.1. Información y resultados de los casos seleccionados para la determinación del régimen medio de oleaje del Golfo de Urabá, en la época seca.* Probabilidad de ocurrencia de cada intervalo de magnitud del viento para una dirección dada entre todos los eventos registrados en la época seca.

Dirección	Intervalos	0,5 – 3,5	3,5 – 6	6 – 9,5	9,5 – 14,5	14,5 – 18,5	18,5 – 23,5	% total por dirección
	Vel. viento (m/s)							
	Marca de clase							
	Vel. viento (m/s)	2,1	4,6	7,6	11,8	16,4	21	
N	Prob. (%) *	0,5	6,1	16,4	15,1	4,9	0,3	43
NW	Prob. (%) *	0,2	1,3	3,1	3,6	1,5	0,4	10
NNW	Prob. (%) *	0	2,1	5,1	6,9	2,7	0,3	17
Periodos de calma								17

Tabla 3.2. Información y resultados de los casos seleccionados para la determinación del régimen medio de oleaje del Golfo de Urabá en la época húmeda.** Probabilidad de ocurrencia de cada intervalo de magnitud del viento para una dirección dada entre todos los eventos registrados en la época húmeda.

Dirección	Intervalos	0,5 – 3,5	3,5 – 6	6 – 9,5	9,5 – 14,5	14,5 – 18,5	18,5 – 23,5	% total por dirección
	Vel. viento (m/s)							
	Marca de clase							
	Vel. viento (m/s)	2,1	4,6	7,6	11,8	16,4	21	
N	Prob. (%) **	0,3	2,5	7,8	2,8	0,2	0	14
NW	Prob. (%) **	0,2	2,1	3,3	1,1	0,2	0	7
NNW	Prob. (%) **	0,3	1,7	2,3	1,6	0,3	0,1	6
S	Prob. (%) **	1,1	7,8	11,2	1,5	0,1	0	22
SW	Prob. (%) **	0,4	3,2	3,3	0,4	0,1	0	7
Periodos de calma								32

estadísticos multianuales del viento en la estación Turbo, tal como se muestra en la tabla 3.3; y se escogieron los eventos de viento con magnitud superior a 9,5 m/s que correspondieron al 85% de probabilidad de no excedencia, para el análisis. De las 16 direcciones analizadas, se escogieron 9: N, SSE, S, SSW, SW, W, WNW, NW, NNW, ya que el viento en las otras direcciones no contó con una probabilidad de ocurrencia asociada.

La estimación de los valores de viento asociados a periodos de retorno de 5, 10, 20, 36 y 50 años, se realizó utilizando la metodología del factor de frecuencia, y aplicando la distribución Gumbel. Como resultado de la aplicación de esta metodología, se obtuvieron las velocidades del viento con sus direcciones para cada uno de los

periodos de retorno. Para nuestro estudio, solo se consideraron las velocidades y direcciones de los vientos asociados a un periodo de retorno de 36 años (recomendación de la ROM 0,3-91), los cuales se muestran en la tabla 3.4.

Régimen medio y extremal de Oleaje SWELL (Paso 3 de la metodología integrada):

Se identificaron 288 casos posibles de oleaje más probables con sus respectivas direcciones. Para la selección de estos casos se realizó un análisis estadístico del régimen medio para la serie de oleaje separada por épocas (época seca: Diciembre – Marzo y época húmeda: Abril – Noviembre). Como resultado, se obtuvieron las tablas de estadísticos, las probabilidades conjuntas y las rosas de oleaje para cada una de las épocas analizadas.

Tabla 3.3. Probabilidad multianual de ocurrencia del viento para cada intervalo de velocidad y para cada dirección

Intervalos Vel. Viento (m/s)	0,5 – 3,5	3,5 – 6	6 – 9,5	9,5 – 14,5	14,5 – 18,5	18,5 – 23,5	% total por dirección
N	0,4	3,6	11,6	5,6	0,7	0	21,8
NNE	0,1	0,2	0	0	0	0	0,4
NE	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0,5
ENE	0	0	0	0	0	0	0,1
E	0,3	0,4	0,1	0	0	0	0,8
ESE	0	0,1	0,1	0	0	0	0,2
SE	0,2	0,5	0,2	0	0	0	0,9
SSE	0,2	0,7	0,2	0,1	0	0	1,2
S	0,9	6	8,5	1,1	0,1	0	16,6
SSW	0,3	1	0,6	0,1	0	0	2
SW	0,3	2,4	2,5	0,3	0	0	5,5
WSW	0,1	0,6	0,2	0	0	0	1
W	0,5	1,4	0,5	0,1	0	0	2,5
WNW	0	0,3	0,1	0,1	0	0	0,7
NW	0,2	1,8	3,3	1,9	0,3	0,1	7,6
NNW	0,2	1,8	3,4	3,4	0,4	0,1	9,4
Periodos de calma (%)							28,7
suma de los porcentajes de cada dirección mas periodos de calma							100

Tabla 3.4. Velocidad y dirección del viento. Régimen extremal de oleaje para un periodo de retorno de 36 años en el golfo de Urabá.

Dir. Viento	Tr	Vel. Viento	Prob.
	(años)	(m/s)	(%)
N	36	16,4	21,8
SSE	36	15,6	1,2
S	36	16,1	16,6
SSW	36	15,6	2,0
SW	36	15,2	5,5
W	36	15,2	2,5
WNW	36	15,6	0,7
NW	36	21,3	7,6
NNW	36	20,8	9,4

La figura 3.12a, ilustra la tabla de estadísticos con las probabilidades de ocurrencia de las direcciones del oleaje para la época seca, en donde se señala con un recuadro en rojo las direcciones de oleaje más probables, asociadas a sus respectivas alturas de olas significantes (H_s): destacándose una probabilidad del 56% para la dirección norte y unas probabilidades del 8% y 6% para las direcciones noreste (NNE) y noroeste (NNW), respectivamente. Para nuestro caso, se trabajó con las alturas de olas significante superadas 12

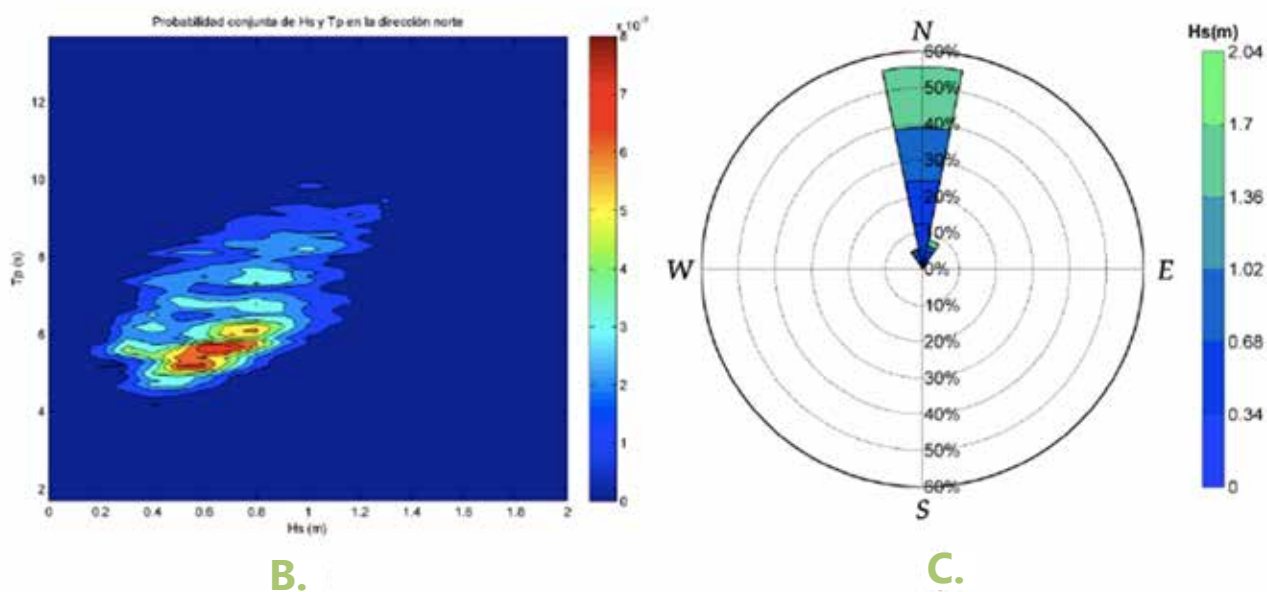
horas al año ($H_{s_{12}}$), ya que representa un buen estadístico de las condiciones más críticas del régimen medio; además, ello está directamente relacionado con algunas formulaciones de procesos morfodinámicos en la costa, como el transporte de sedimentos y la erosión de la línea de costa, entre otros. La figura 3.12b, muestra la probabilidad conjunta de alturas de ola significativa (H_s) y periodo de pico (T_p) en la dirección con mayor probabilidad de ocurrencia, que para esta época correspondió

TABLA ESTADÍSTICOS BASICOS

Variable medida: Hs

direcciones(*)	prob. direccion	Hs _{10%}	Hs _{50%}	Hs _{90%}	Hs _{1,2}
N	0.5579	0.7338	1.1518	1.5117	1.7028
NNE	0.0812	0.5837	1.1012	1.4969	1.8631
NE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ENE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
E	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ESE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SSE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
S	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
W	0.0000	0.0553	0.0553	0.0553	0.0553
WNW	0.0001	0.2832	0.3037	0.3037	0.3037
NW	0.0005	0.2682	0.3149	0.4411	0.4411
NNW	0.0569	0.5696	0.8747	1.1859	1.5708

A.



B.

C.

Figura 3.12. Resultados del análisis estadístico para la época seca. a) Tabla de estadísticos básicos (los valores dentro de la tabla corresponden a alturas significantes de ola expresadas en metros). b) Probabilidad conjunta de altura de ola significativa (Hs) y Periodo de Pico (Tp) en la dirección Norte. c) Rosa de oleaje.

a la dirección norte (N). Finalmente, en la figura 3.12c, se ilustran las rosas de oleaje en donde se pueden apreciar las direcciones y magnitudes, con mayor probabilidad de ocurrencia para la época seca. Se destaca notoriamente la dirección norte (N), con una probabilidad de ocurrencia

de 55%, asociada a una altura de ola de 1,7 m. Para la selección del periodo de pico (Tp), nos basamos también en la figura 3.12b, en donde asociamos la Hs_{1,2} (1,7 m) correspondiente a la dirección norte (N), con su respectivo periodo de pico (Tp), el cual fue de 10 s.

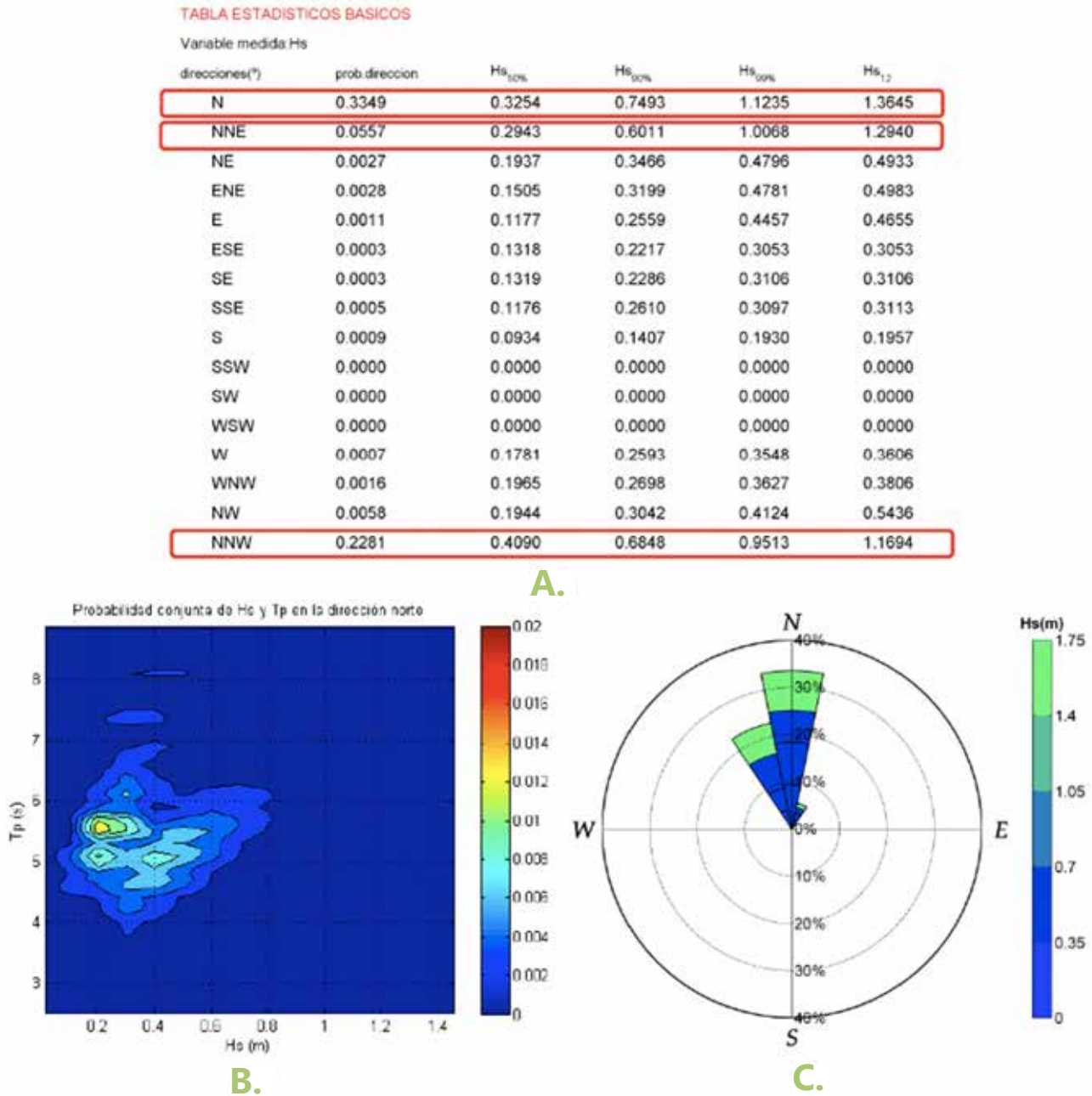


Figura 3.13. Resultado del análisis estadístico para la época húmeda. a) Tabla de estadísticos básicos (los valores dentro de la tabla corresponden a alturas significantes de ola expresadas en metros). b) Probabilidad conjunta de altura de ola significativa (Hs) y Periodo de Pico (Tp) en la dirección Norte. d) Rosa de oleaje.

En cuanto a la época húmeda, la figura 3.13a, ilustra la tabla de estadísticos con las probabilidades de ocurrencia de las direcciones del oleaje, en donde se resaltan, con los recuadros en rojo, las direcciones de oleaje más probables asociadas a sus respectivas alturas de olas significantes (Hs). Se destacan las direcciones norte (N) y nornoroeste (NNW), con probabilidades de ocurrencia de 33% y 23%, respectivamente, y con una menor probabilidad la dirección nornoreste (NNE) de 6%. Para esta época, también se trabajó con las alturas de olas significante superadas 12 horas al año (Hs_{1,2}), para

la definición de los casos de modelación final. La figura 3.13, muestra la probabilidad conjunta de alturas de ola significante (Hs) y periodo de pico (Tp) en la dirección con mayor probabilidad de ocurrencia, que para esta época correspondió a la dirección norte (N). Finalmente, en la figura 3.13c, se ilustra la rosa de oleaje en donde se pueden apreciar las direcciones y magnitudes con mayor probabilidad de ocurrencia para la época húmeda.

Se destacan notoriamente la dirección norte (N) y nornoroeste (NNW), con una probabilidad de

ocurrencia de 34% y 24%, asociadas a unas alturas de ola de 1,36 m y 1,17 m, respectivamente. Para la escogencia del periodo de pico (T_p), nos basamos de igual forma en la figura 3.13b, en donde se asociaron las $H_{s_{12}}$ (1,36 m y 1,17 m, respectivamente), correspondiente a las direcciones norte (N) y nornoroeste (NNW), a sus respectivos periodos de pico (T_p), que para este caso es de 7,5 s.

Con base en los resultados presentados en las figuras 3.12 y 3.13, para la definición de los casos de modelación de régimen medio en la época seca y húmeda, se escogieron los parámetros de oleaje (altura de ola significativa (H_s), periodo de pico (T_p) y dirección) de las 3 direcciones con mayor probabilidad de ocurrencia, los cuales se presentan resumidos en la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Casos más probables de oleaje para cada una de las épocas climáticas (época seca – época húmeda) para el Golfo de Urabá.

DIRECCIÓN	ÉPOCA SECA			ÉPOCA HÚMEDA		
	N	NNE	NNW	N	NNW	NNE
Hs(m)	1,7	1,86	1,57	1,36	1,17	1,29
T_p (s)	10	10	10	7,5	7,5	7,5
Prob. época (%)	55,79	8,12	5,69	33,49	22,81	5,57
Prob. anual (%)	18,59	2,7	1,89	22,32	15,21	3,71

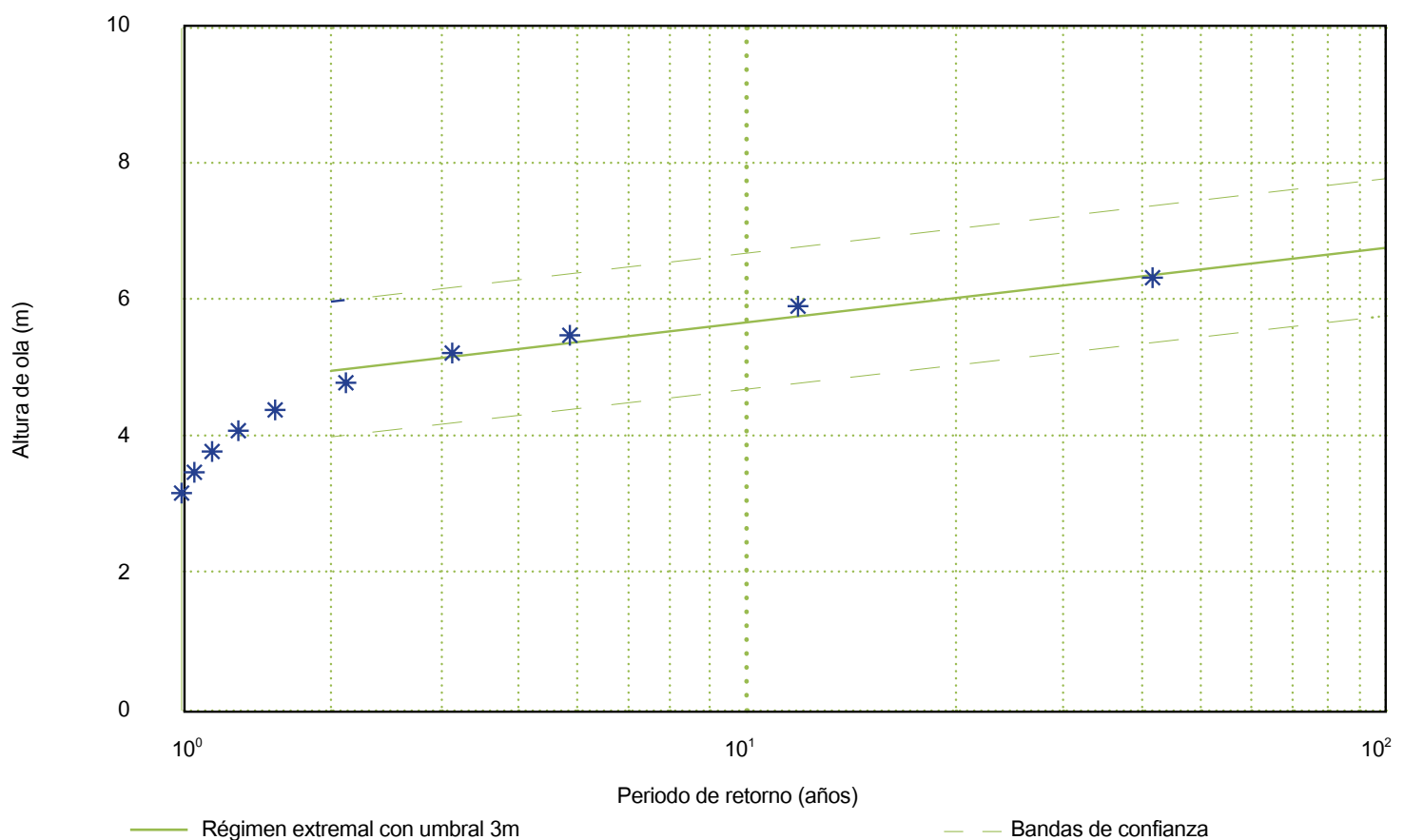


Figura 3.14. Regímenes extremales de oleaje debido al paso de huracanes a las afueras del golfo de Urabá para un umbral mínimo de 3 m.

Para definir el régimen extremal de oleaje se asume que las mayores alturas de olas que se producen en el mar Caribe, son debidas al paso de huracanes. Por tanto, se utilizó el método propuesto por Young (1988). Con esta metodología se determinaron las alturas de ola significante producidas por los huracanes que han ocurrido en el mar Caribe desde 1950, en el punto de coordenadas 8,16°N – 77,10°W (figura 3.1, círculo rojo). Con la aplicación de este método, encontramos que 40 huracanes produjeron alturas de ola significantes (H_s), superiores a 1,5 m y menores a 6.7 m en dicho punto, al extremo Norte del Golfo. Luego de conocer la serie de alturas de ola generadas por los huracanes, se seleccionaron aquellas que superan 3,0 m de altura, para las cuales se ajustó la distribución de probabilidad Gumbel de máximos (figura 3.14).

De este análisis se obtuvo la altura de ola con periodo de retorno de 36 años en el extremo superior de la banda de confianza de $H_s = 7,3$ m. Esta altura de ola sería la que se va a propagar desde el punto en el extremo Norte, hacia el interior del golfo de Urabá en la dirección más crítica, la NNW (dentro de otras 4 direcciones posibles NE, NNE, N, NNW): a causa de que coincide con la dirección de la configuración y alineación que tiene el Golfo.

Para este régimen se identificó el caso más crítico posible de oleaje extremal, con su respectiva dirección para un periodo de retorno, T_r , de 36 años. El caso escogido se representa en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Caso más probable de oleaje para cada una de las épocas climáticas (época seca – época húmeda) en el golfo de Urabá.

CASOS N°	H_s (m)	T_p (s)	Dir(°)	Dir
1	7,3	12	292,5	NNW

F. Definición de las modelaciones para cada régimen

Modelaciones y resultados para el régimen medio

SEA y SWELL: Con base en los casos de régimen medio SEA y SWELL, se identificaron 288 casos posibles, de los cuales seleccionamos los casos más significativos basados en las mayores probabilidades de ocurrencia de las direcciones de los SEA y SWELL. Los casos seleccionados se presentan en la tabla 3.7.

Aunque se realizaron todos los casos de modelación presentados en la tabla 3.7, solo se ilustra los casos sombreados debido a que cada uno de ellos presenta la mayor probabilidad de ocurrencia; y representan las variabilidades de las demás direcciones asociadas a las direcciones de los casos seleccionados y, además, son los casos con mayor influencia en el aumento de las alturas de olas que se pueden presentar en el golfo de Urabá. Los casos 1 y 3 seleccionados, correspondientes a la época seca, con dirección norte (N) de oleaje SWELL y dirección norte (N) de oleaje SEA; y dirección norte (N) de oleaje SWELL y dirección sur (S) de oleaje SEA, los cuales presentan probabilidades de ocurrencia de 55,79 – 43% y 55,79 – 7%, respectivamente (tabla 3.7, casos 1 y 3, sombreados para época seca). Ahora bien, la dirección norte (N) de oleaje SWELL, representa las variabilidades del noreste (NNE) y noroeste (NNW), las cuales tienen una probabilidad de ocurrencia de 13,81% (tabla 3.7, oleaje SWELL, época seca, otros casos).

Para la dirección sur (S) de oleaje de Sea, debido a que la serie histórica de estadísticos de viento de la estación Turbo, propiedad del *International Station Meteorological Climate Summary* (ISMCS), con una longitud de registro de 35 años (enero/1949 – mayo/1984), no registró esta dirección; el análisis del régimen medio del oleaje SEA no reveló probabilidad de ocurrencia para la misma (Figs. 3.12a, b). Pero, durante la campaña de campo realizada en la época seca, se registraron eventos

Tabla 3.7. Casos más probables del régimen medio de SEA y SWELL para el golfo de Urabá.

MODELACIONES RÉGIMEN MEDIO											
EPOCA	OLEAJE DE SWELL						OLEAJE DE SEA				
	CASOS N°	Hs (m)	Tp (seg)	Dir	Dir(°)	Prob. Por época (%)	Vel (m/s)	Dir	Dir(°)	Prob. por época (%)	
Seca	1	1,7	10	270	N	55,79	7,6	N	270	43	
Seca	2	1,7	10	270	N	55,79	11,8	NNW	292,5	17	
Seca	3	1,4	7,5	270	N	55,79	9	S	90	7	
OTROS CASOS		NNE - NNW				13,81	OTROS CASOS		NNW	10	
CALMAS						30	CALMAS				17
TOTAL						100	TOTAL				94
Húmeda	4	1,4	7,5	270	N	33,49	7,6	N	270	14	
Húmeda	5	1,4	7,5	270	N	33,49	7,6	S	90	22	
Húmeda	6	1,2	7,5	292,5	NNW	22,81	7,6	N	270	14	
Húmeda	7	1,2	7,5	292,5	NNW	22,81	7,6	S	90	22	
OTROS CASOS		NNE				5,57	OTROS CASOS		NW - NNW	13	
CALMAS						36	CALMAS				32
TOTAL						98	TOTAL				81
MODELACIONES RÉGIMEN MEDIO – SOLO OLAJE DE SEA											
EPOCA	CASOS N°	Hs (m)	Tp (seg)	Dir	Dir(°)	Prob (%)	Vel (m/s)	Dir	Dir(°)	Prob (%)	
Seca	8	-	-	-	-	-	7,6	N	270	43	
Seca	9	-	-	-	-	-	11,8	NNW	292,5	17	
Seca	10	-	-	-	-	-	9	S	90	7	
Húmeda	11	-	-	-	-	-	7,6	N	270	14	
Húmeda	12	-	-	-	-	-	7,6	S	90	22	

particulares en la dirección sur (S) asociándola a una probabilidad de ocurrencia del 7%. Dada la particularidad de la situación registrada, ésta fue seleccionada como un caso posible de modelación (tabla 3.7, oleaje SEA, caso 3, época seca).

Por otra parte, para la época seca, además de las probabilidades de ocurrencia de oleaje SWELL, hay una probabilidad de ocurrencia de periodos de calma del 30% para esta época (tabla 3.7, oleaje de SWELL, época seca, calmas). En total, para los casos

de oleaje SWELL, estamos representando el 100% de la probabilidad de ocurrencia de los casos posibles de oleaje de este tipo (tabla 3.7, oleaje SWELL, época seca, total). Ahora bien, la probabilidad de ocurrencia de los periodos de calmas del oleaje tipo SEA es de 17% para esta época (tabla 3.7, oleaje de SEA, época seca, calmas) que, sumado a las demás probabilidades de ocurrencia de los casos seleccionados, y los otros casos, representa el 94% de las probabilidades de ocurrencia de los casos posibles (tabla 3.7, oleaje SEA, época seca, total).

Para la época húmeda se seleccionaron los casos 6 y 7 con dirección nornoroeste (NNW) de oleaje de SWELL y dirección norte (N) de oleaje de SEA, y dirección nornoroeste (NNW) de oleaje de SWELL, y dirección sur (S) de oleaje de SEA: los cuales presentan probabilidades de ocurrencia de 22,81 – 14% y 22,81 – 22%, respectivamente (tabla 3.7, casos 6 y 7 sombreados para época húmeda). Ahora bien, la dirección nornoroeste (NNW) de oleaje de SWELL, representa la variabilidad del noreste (NE), con una probabilidad de ocurrencia de 5,57% (tabla 3.7, oleaje SWELL, época húmeda). La dirección norte (N) de oleaje SEA representa la variabilidad del noroeste (NW) y nornoroeste (NNW), con una probabilidad de ocurrencia de 13% (tabla 3.7, oleaje SEA, época húmeda).

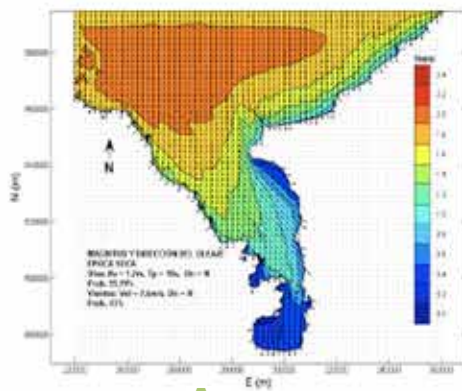
De igual forma, fueron analizados y seleccionados los casos modelados sólo de oleaje SEA (casos 8 y 9, época seca, y casos 11 y 12, época húmeda). En la figura 3.15, se presentan los resultados obtenidos para cada una de las modelaciones presentadas y sombreadas en la tabla 3.7.

El caso 1 (figura 3.15a), muestra las magnitudes de altura de ola y dirección de propagación que se pueden presentar en la época seca, a lo largo del golfo de Urabá, para una ola con 1,7 m de altura, periodo de pico de 10 s y una probabilidad de ocurrencia de 55,79% del tiempo de dirección norte (oleaje SWELL), y vientos con velocidades de 7,6 m/s y una probabilidad de ocurrencia de 43% del tiempo de dirección norte (oleaje SEA). Podemos apreciar cómo influyen de manera significativa, la coincidencia de este oleaje y viento característico, en el incremento de las alturas de olas que avanzan al interior del Golfo y que, a pesar de que dichas olas van siendo disipadas por las características geomorfológicas y batimétricas del mismo, no dejan de ser una amenaza para la generación de procesos hidrodinámicos que puedan afectar la línea de costa, y, por ende, los ecosistemas de manglar existentes en la zona. Ante la ocurrencia de estas condiciones de oleaje SWELL y SEA, la zona más afectada sería toda la línea de costa de la margen occidental del

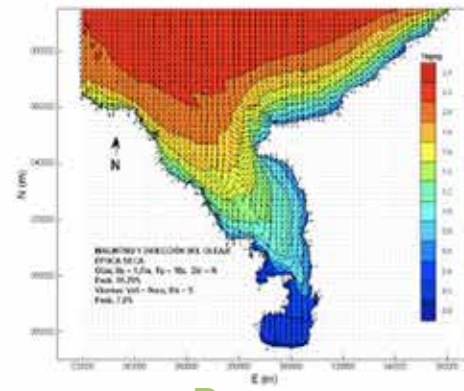
Golfo, desde Capurganá hasta el delta del río Atrato; presentándose alturas de olas de 1,0 a 1,6 m. Sin embargo, no se pueden despreciar las alturas de olas de 0,6 m que estarían llegando sobre la línea de costa de la margen derecha y zona sur del Golfo (bahía Colombia). También se pudo identificar que existen zonas protegidas, como la zona comprendida entre punta Caribaná y Necoclí, presentándose alturas de olas de 0,2 a 0,4 m.

El caso 3 (figura 3.15b), muestra las magnitudes de altura de ola y dirección de propagación que se pueden presentar en la época seca, a lo largo del golfo de Urabá, para una ola de 1,7 m de altura, periodo de pico de 10 s y una probabilidad de ocurrencia de 55,79% del tiempo de dirección norte (oleaje SWELL); y vientos con velocidades de 9,0 m/s y una probabilidad de ocurrencia de 7,0% del tiempo de dirección sur (oleaje SEA). Podemos apreciar cómo el viento se convierte en uno de los factores que influyen de manera significativa (como lo son las características geomorfológicas y batimétricas del Golfo), en la disipación de las olas que avanzan hacia el interior del Golfo. Este comportamiento de los vientos favorece notoriamente la reducción de la amenaza en la generación de procesos hidrodinámicos que puedan afectar la línea de costa (corrientes, transporte de sedimentos, erosión, sedimentación, etc.); y, por ende, los ecosistemas de manglar existentes en la zona. Ante la ocurrencia de estas condiciones de oleaje SWELL y de SEA, la zona más afectada continuaría siendo, en menor proporción, la línea de costa de la margen occidental del Golfo, desde Capurganá hasta el delta del río Atrato, con alturas de olas de 0,4 a 1,4 m. Ahora bien, la zona comprendida entre punta Caribaná y Necoclí, presenta alturas de ola de 0,6 m, reflejando un incremento significativo de 0,2 m, en comparación con el caso 1 (olas de 0,2 a 0,4 m). Este efecto se debe a que el viento influye en la transformación de las olas que sufren un proceso de difracción por la punta Caribaná, y van en dirección sureste, justo hacia esta zona, presentándose una coincidencia entre la dirección de las olas y los vientos locales.

**MODELACIONES CON OLEAJE TIPO SWELL Y SEA
CASOS ÉPOCA SECA**

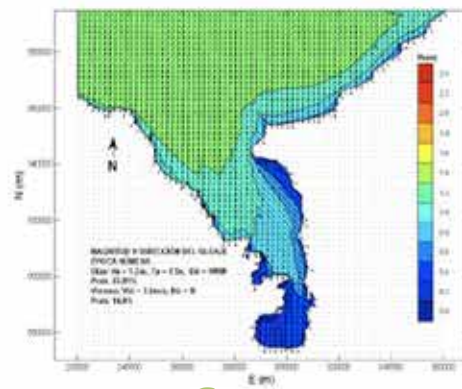


A. Caso 1

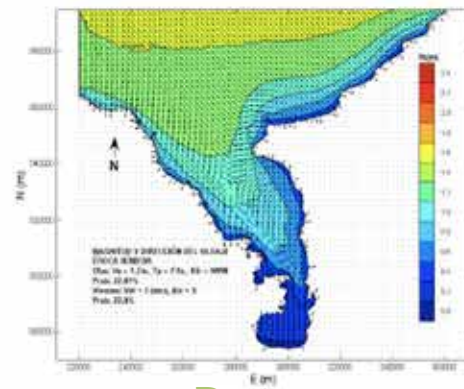


B. Caso 3

CASOS ÉPOCA HÚMEDA

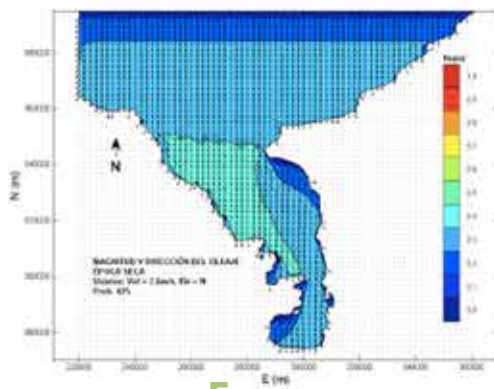


C. Caso 6

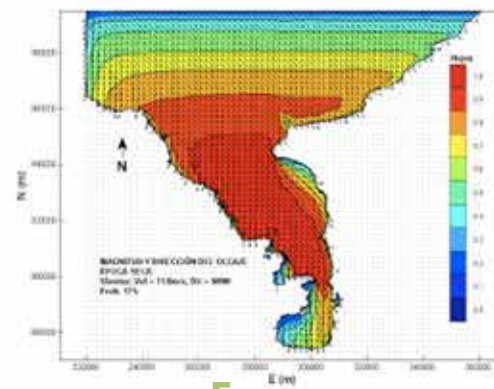


D. Caso 7

**MODELACIONES CON OLEAJE TIPO SEA
CASOS ÉPOCA SECA**

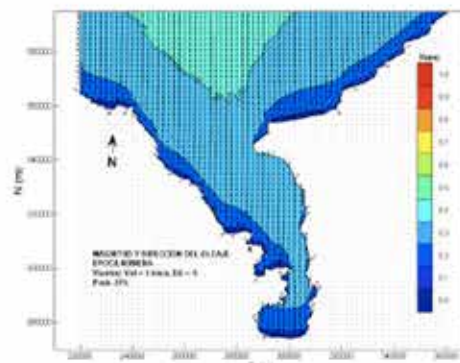


E. Caso 8



F. Caso 9

CASOS ÉPOCA HÚMEDA



G. Caso 12

Figura 3.15. Resultados de los casos seleccionados para el Régimen Medio de SEA y SWELL. a) Caso 1, época seca con oleaje SWELL con dirección norte y oleaje SEA con dirección norte. b) Caso 3, época seca con oleaje SWELL con dirección norte y oleaje SEA con dirección sur. c) Caso 6, época húmeda con oleaje SWELL con dirección nornoroeste y oleaje SEA con dirección norte. d) Caso 7, época húmeda con oleaje SWELL con dirección nornoroeste y oleaje SEA con dirección sur. e) Caso 8, época seca, solo oleaje SEA con dirección norte. f) Caso 9, época seca, solo oleaje SEA con dirección nornoroeste. g) Caso 12, época húmeda, solo oleaje SEA con dirección sur.

El caso 6 (figura 3.15c), muestra las magnitudes de altura de ola y dirección de propagación que se pueden presentar en la época húmeda, a lo largo del golfo de Urabá, para una ola de 1,2 m de altura, periodo de pico de 7,5 s y una probabilidad de ocurrencia de 22,81% del tiempo de dirección nornoroeste (oleaje SWELL), y vientos con velocidades de 7.6 m/s y una probabilidad de ocurrencia de 14% del tiempo de dirección norte (oleaje SEA). Podemos apreciar cómo, a menores magnitudes del oleaje SEA y SWELL, vamos observando recíprocamente que las magnitudes de alturas de ola se reducen significativamente, teniendo en cuenta la influencia de las características geomorfológicas y batimétricas del Golfo. Las alturas de olas registradas cerca a la línea de costa del Golfo son de 0,8 a 1,0 m sobre la margen occidental, y del orden de los 0,2 – 0,4 m sobre la parte más protegida de la margen oriental y en el sur, bahía Colombia.

El caso 7 (figura 3.15d), muestra las magnitudes de altura de ola y dirección de propagación que se pueden presentar en la época húmeda, a lo largo del golfo de Urabá, para una ola de 1,2 m de altura, periodo de pico de 7,5 s y una probabilidad de ocurrencia de 22,81 del tiempo de dirección nornoroeste (oleaje SWELL), y vientos con velocidades de 7,6 m/s y una probabilidad de ocurrencia del 22% del tiempo de dirección sur (oleaje tipo *Sea*). La situación identificada en este caso, es la misma encontrada y descrita en el caso 3, aunque las magnitudes y direcciones del oleaje SWELL para este caso (caso 7) son mucho menores que las del caso 3. Sin embargo, podemos apreciar nuevamente, cómo el viento del sur juega un papel importante al influir, además de otros factores importantes (características geomorfológicas y batimétricas), en la disipación de las olas hacia el interior del Golfo. De igual forma que el caso 3, estos vientos coinciden con la dirección de las olas después de sufrir su transformación a causa de la difracción generada por punta Caribaná,

produciendo un incremento en las alturas de las olas de 0,4 a 0,6 m. Las alturas de olas registradas cerca a la línea de costa son del orden de 0,4 a 0,6 m sobre la margen occidental, y del orden de los 0,2 a 0,4 m sobre las partes más protegidas de la margen derecha y en el sur, bahía Colombia.

El caso 8 (figura 3.15e), muestra las magnitudes de altura de ola y dirección de propagación que se pueden presentar en la época seca, a lo largo del golfo de Urabá, solo con vientos con velocidades de 7,6 m/s y una probabilidad de ocurrencia del 43% del tiempo de dirección norte (oleaje SEA). Se puede apreciar como el oleaje SEA solo influye de manera considerable en la zona noroccidental y la zona sur del Golfo (bahía Colombia), registrando alturas de olas de 0 a 0,4 m.

El caso 9 (figura 3.15f), muestra las magnitudes de altura de ola y dirección de propagación que se pueden presentar en la época seca, a lo largo del golfo de Urabá, sólo con vientos con velocidades de 11,8 m/s, y una probabilidad de ocurrencia del 17% del tiempo con dirección nornoroeste (oleaje SEA). Podemos apreciar cómo el oleaje SEA, para este caso, juega un papel significativo en el incremento de las alturas de olas, debido a que los vientos coinciden con la alineación nornoroeste que tiene el Golfo. Las alturas de olas registradas tanto en la línea de costa de la margen occidental como en gran parte de la oriental, son del orden de 0,7 a 1 m. En la zona sur (bahía Colombia) vemos una influencia significativa de las alturas de olas, aunque inician su proceso de disipación justo después de cruzar el delta del río Atrato, generando unas alturas de olas que van desde 0,8 a 0,2 m, las cuales impactan sobre la línea de costa de bahía Colombia. Podríamos decir que la zona menos afectada por la ocurrencia de este caso, sería parte de la zona comprendida entre punta Caribana - Necoclí y la zona occidental de bahía Colombia.

Finalmente, el caso 12 (figura 3.15g), muestra las magnitudes de altura de ola y dirección de propagación que se pueden presentar a lo largo del

Golfo de Urabá, en la época húmeda: solo vientos con velocidades de 7,6 m/s y una probabilidad de ocurrencia del 22% del tiempo de dirección sur (oleaje SEA). Podemos apreciar como el oleaje SEA influye de manera considerable sobre la zona norte y nororiental del Golfo, con alturas de olas del orden de los 0,4 m, las cuales se presentan a partir del delta del río Atrato hacia el norte del Golfo.

Modelaciones y Resultados para el Régimen Extremal de Sea y Swell: Con base en los casos de régimen extremal de SEA y SWELL, se identificaron 18 casos posibles; sin embargo, sólo fueron seleccionados los casos más significativos basados en las mayores probabilidades de ocurrencia de las direcciones de SEA y SWELL, los cuales fueron 10 (tabla 3.8).

Aunque se realizaron todos los casos de modelación presentados en la tabla 3.8, solo ilustraremos los casos sombreados debido a que cada uno de ellos, en especial los casos de oleaje SEA, presentan la

mayor probabilidad de ocurrencia; y representan las variabilidades de las demás direcciones asociadas a las direcciones de los casos seleccionados, y además son los casos con mayor influencia en el aumento de las alturas de olas que se pueden presentar en el golfo de Urabá. De esta manera, se selecciona el caso 3, con dirección nornoroeste (NNW) de oleaje SWELL, que fue el caso más crítico identificado del régimen extremal, y dirección sur (S) de oleaje SEA, con una probabilidad de ocurrencia del 16,6% (tabla 3.8, caso 3). De igual forma, se selecciona el caso 8, con dirección nornoroeste (NNW) de oleaje SWELL, y dirección noroeste (NW) de oleaje SEA (probabilidad de ocurrencia del 7,6%), (tabla 3.8, caso 8).

Teniendo en cuenta que hay una probabilidad de ocurrencia de calmas para el oleaje extremal SWELL, se seleccionaron los mismos casos con oleaje extremal SEA, bajo el mismo análisis utilizado para la selección de los casos anteriores. Los casos seleccionados fueron 10, 12 y 18 (tabla 3.8, casos sombreados).

Tabla 3.8. Casos más representativos del régimen extremal de SEA y SWELL para el golfo de Urabá.

MODELACIONES RÉGIMEN EXTREMAL									
OLEAJE DE SWELL					OLEAJE DE SEA				
CASOS N°	Hs (m)	Tp (seg)	Dir	Dir(°)	Vel (m/s)	Dir	Dir(°)	Tr (años)	Prob.%
1	7,3	12	292,5	NNW	16,4	N	270	36	21,8
3	7,3	12	292,5	NNW	16,1	S	90	36	16,6
5	7,3	12	292,5	NNW	15,2	SW	45	36	5,5
8	7,3	12	292,5	NNW	21,3	NW	315	36	7,6
9	7,3	12	292,5	NNW	20,8	NNW	292,5	36	9,4
10	-	-	-	-	16,4	N	270	36	21,8
12	-	-	-	-	16,1	S	90	36	16,6
14	-	-	-	-	15,2	SW	45	36	5,5
17	-	-	-	-	21,3	NW	315	36	7,6
18	-	-	-	-	20,8	NNW	292,5	36	9,4

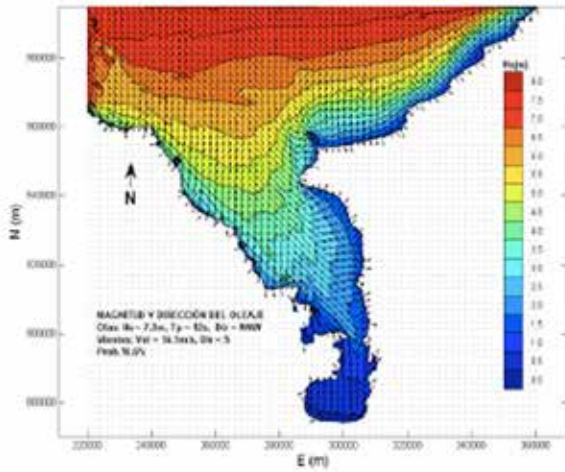
En la figura 3.16 se presentan los resultados obtenidos para cada una de las modelaciones presentadas en la tabla 3.13. El caso 3 (figura 3.16a), muestra las magnitudes de altura de ola y dirección de propagación que se pueden presentar, a lo largo del golfo de Urabá, para una ola de 7,3 m de altura, periodo de pico de 12 s y de dirección nornoroeste, que es la dirección más crítica para la propagación de oleaje desde aguas profundas (oleaje SWELL), y vientos con velocidades de 16,1 m/s y una probabilidad de ocurrencia del 16,6% del tiempo de dirección sur (oleaje SEA). Podemos apreciar cómo el viento sigue siendo parte de los factores que influyen de manera significativa, junto con las características geomorfológicas y batimétricas del Golfo, en la disipación de las olas que avanzan hacia el interior del mismo. Este comportamiento de los vientos favorece la reducción de la amenaza en la generación de procesos hidrodinámicos que puedan afectar la línea de costa y, por ende, los ecosistemas de manglar existentes en la zona. Ante la ocurrencia de estas condiciones de oleaje SWELL y SEA, la zona más afectada sería toda la línea de costa de la margen occidental del Golfo, desde Capurganá hasta el delta del río Atrato: con alturas de olas del orden de 1,0 a 4,0 m. En la zona comprendida entre punta Caribaná y Necoclí se presentan alturas de 1,0 a 1,5 m, reflejando un incremento significativo en las alturas de olas que se presentaría con la influencia de oleaje SEA de otra dirección probable, preferiblemente del norte. Este efecto se debe a que el viento influye en la transformación de las olas que vienen de sufrir un proceso de difracción, ocasionado por la punta Caribaná, y van en dirección sureste justo hacia esta zona, presentándose una coincidencia entre la dirección de las olas y los vientos.

El caso 8 (figura 3.16b), muestra las magnitudes de altura de ola y dirección de propagación que se pueden presentar a lo largo del golfo de Urabá, para una ola de 7,3 m de altura, periodo de pico de 12 s y de dirección nornoroeste, que es la dirección más crítica para la propagación de oleaje desde aguas profundas (oleaje SWELL), y vientos

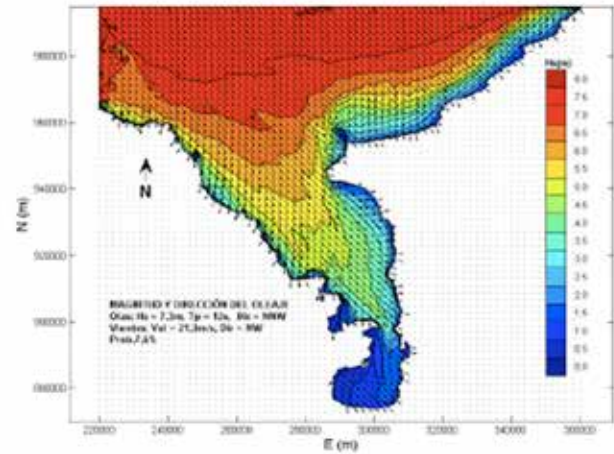
con velocidades de 21,3 m/s y una probabilidad de ocurrencia del 7,6% del tiempo de dirección nornoroeste (oleaje SEA). Podemos apreciar cómo influyen de manera significativa, la coincidencia en dirección de este oleaje y viento característico, en el incremento de las alturas de olas que avanzan al interior del Golfo y que, a pesar de que dichas olas van siendo disipadas por las características geomorfológicas y batimétricas del Golfo, no dejan de ser una amenaza para la generación de procesos hidrodinámicos que afectan la línea de costa y los ecosistemas de manglar existentes en la zona. Para este evento extremal, las alturas de olas registradas en la parte exterior del Golfo son del orden de los 6,0 m, entre los límites de la punta Caribaná y Capurganá, y a medida que avanzan hacia su interior, se van disipando hasta registrar alturas de olas del orden de los 2,0 m en la zona sur del Golfo (bahía Colombia). Algo importante que hay que tener en cuenta con los resultados ilustrados en la figura 3.12b, es que las menores alturas de olas que se presentarían en los sitios más protegidos del Golfo, serían de 1,0 m. Condición crítica que incrementaría considerablemente los procesos de erosión y sedimentación de la línea de costa del golfo de Urabá.

El caso 10 (figura 3.16c), muestra las magnitudes de altura de ola y dirección de propagación que se pueden presentar a lo largo del golfo de Urabá, solo con vientos con velocidades de 21,8 m/s, y una probabilidad de ocurrencia del 21,8% del tiempo de dirección norte (oleaje SEA). Podemos apreciar cómo el oleaje SEA influye considerablemente sobre gran parte de la línea de costa de la margen occidental, con alturas de olas que alcanzan hasta los 1,5 m; mientras que sobre la línea de costa de la margen oriental y de la zona sur, las alturas de olas alcanzan hasta los 1,3 m. Las zonas con menor influencia pero que aún presentan olas considerables (alturas de olas del orden de los 0,3–0,8 m), son las zonas comprendidas entre punta Caribaná y Necoclí, bahía Turbo y la zona occidental de bahía Colombia.

MODELACIONES CON OLEAJE TIPO SWELL Y SEA

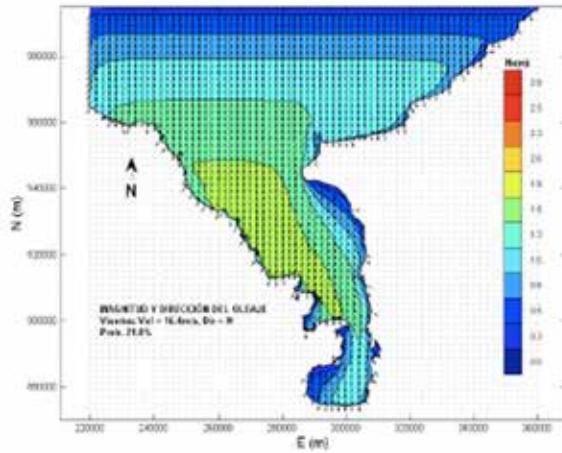


A. Caso 3

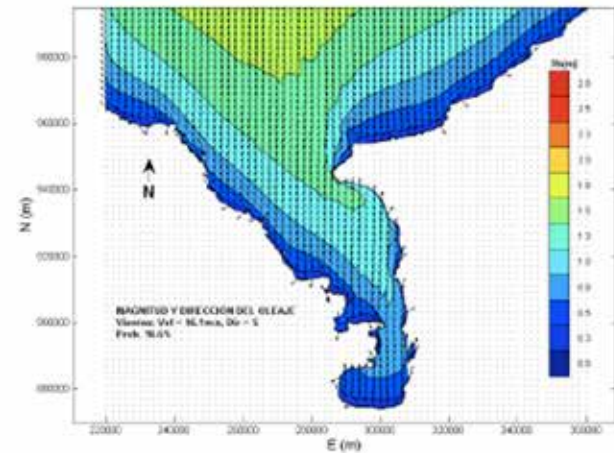


B. Caso 8

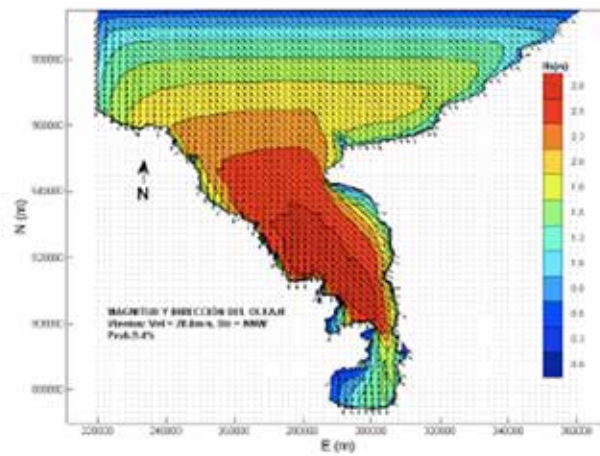
MODELACIONES CON OLEAJE TIPO SEA



C. Caso 10



D. Caso 12



E. Caso 18

Figura 3.16. Resultados de los casos seleccionados para el Régimen Extremal de SEA y SWELL. a) Caso 3, con oleaje SWELL con dirección nornoroeste y oleaje SEA con dirección sur. b) Caso 8, con oleaje SWELL con dirección nornoroeste y oleaje SEA con dirección noroeste. c) Caso 10, solo con oleaje SEA con dirección norte. d) Caso 12, solo con oleaje SEA con dirección sur. e) Caso 18, solo con oleaje SEA con dirección nornoroeste.

El caso 12 (figura 3.16d), muestra las magnitudes de altura de ola y dirección de propagación que se pueden presentar, a lo largo del golfo de Urabá, solo con vientos con velocidades de 16,1 m/s, y una probabilidad de ocurrencia del 16,6% del tiempo de dirección sur (oleaje SEA). Podemos apreciar cómo el viento local influye en la generación de oleaje local que avanza en dirección noreste (NNE), con alturas de olas del orden de 1,3 m, afectando principalmente la zona comprendida entre punta Caribaná y Necoclí, y otra zona claramente identificable a cada lado de los deltas del río Atrato y Turbo, con alturas de olas de los 0,8 m.

Finalmente, el caso 18 (figura 3.16e), muestra las magnitudes de altura de ola y dirección de propagación que se pueden presentar a lo largo del golfo de Urabá, con vientos con velocidades de 20,8 m/s, y probabilidad de ocurrencia del 9,4%

del tiempo con dirección nornoroeste (oleaje SEA). Podemos apreciar cómo el oleaje SEA, para este caso, juega un papel significativo en el incremento de las alturas de olas, a raíz de que los vientos coinciden con la alineación nornoroeste (NNW) del Golfo. Las alturas de olas registradas tanto en la línea de costa de la margen occidental, como gran parte de la oriental, son del orden 2,0 a 2,8 m, aunque con mayor influencia sobre la zona occidental. En la zona sur (bahía Colombia) vemos una influencia significativa de las alturas de olas, iniciando su proceso de disipación después de cruzar el delta del río Atrato; y generando unas alturas de olas que van desde 0,3 a 1,5 m, que impactan sobre la línea de costa de bahía Colombia. Podríamos decir que los sitios con menor afectación, nuevamente serían parte de la zona comprendida entre punta Caribaná y Necoclí, y la parte de la zona occidental de bahía Colombia.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que el modelo SWAN representa bien las características del oleaje medido en las campañas de campo, especialmente las tendencias de crecimiento y decrecimiento; aunque en ocasiones no representa adecuadamente las magnitudes, subestimando algunos máximos y sobreestimando algunos mínimos.

De acuerdo a las simulaciones finales y a los datos de campo registrados, a lo largo del Golfo se presentan principalmente 2 zonas dominadas por diferentes tipos de oleaje. Una zona uno (1) dominada fuertemente por oleaje de fondo o SWELL, que va desde el límite exterior del Golfo, entre Capurganá y punta Caribaná, hasta el límite entre los deltas del río Atrato y río Turbo. Una zona dos (2) dominada fuertemente por oleaje local o SEA, y que comprende bahía Colombia. Para la zona uno (1), la cual está dominada fuertemente por SWELL (oleaje de fondo), se identificaron 3 características geomorfológicas que influyen en transformación del oleaje del Golfo. La primera es punta Caribaná, ubicada en el extremo norte del Golfo. Este accidente geográfico demarca el inicio de la transformación del oleaje que entra principalmente

con dirección N, NNE o NE, destacándose los procesos de difracción y refracción, asociados con una reducción de las alturas de ola significativa (H_s) para condiciones medias de oleaje, y vientos con valores que oscilan entre 1,6 m en punta Caribaná y 1,0 m en las inmediaciones de los deltas de los ríos Turbo y Atrato. El delta del río Atrato es la segunda característica geomorfológica principal en la transformación del oleaje para esta primera zona. La tercera característica es la batimetría con igual grado de importancia que las características anteriores. Mientras que para la zona 2 (bahía Colombia) es mucho más significativo el oleaje de SEA (oleaje local), debido a que la energía del oleaje de fondo se disipa a medida que se propaga hacia el interior del golfo de Urabá, especialmente al acercarse y atravesar el delta del río Atrato, con valores que oscilan entre 0,8 m saliendo de la influencia del mismo, y 0,4 m en bahía Colombia.

Esta investigación contribuye con información muy útil para la comunidad científica interesada en el comportamiento hidrodinámico del Golfo, y su influencia sobre las costas, particularmente sobre las zonas de manglar. Además, es una

herramienta de información útil de interés tanto para las entidades gubernamentales encargadas de la conservación y manejo de los recursos naturales y del ordenamiento territorial (*Ministerio del Medio Ambiente, CORPOURABA, Invermar*), así como para los dirigentes políticos y administradores nacionales, departamentales y locales (gobernadores, alcaldes, presidentes de juntas de acción comunal, etc.), en el horizonte de la toma de decisiones relacionadas con el uso de tierras, la ubicación de asentamientos humanos y las actividades agropecuarias para su sustento, las cuales afectan directa e indirectamente los asentamientos de bosques de manglar.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias al apoyo de la Gobernación de Antioquia y el Proyecto *Expedición Antioquia*; a la *Dirección de Investigación Medellín (DIME)*, *Buceos Industriales y Dragados de Urabá*, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C.; *Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH)*; y a la *Dirección General Marítima (DIMAR)*. Se agradece a los integrantes del proyecto de

Por otra parte, posiblemente ayudará a incrementar la protección de las zonas costeras afectadas por la erosión, propiciando la reactivación del turismo marítimo-costero de la región, el incremento de la pesca artesanal en el golfo de Urabá, y el mejoramiento de los hábitats costeros.

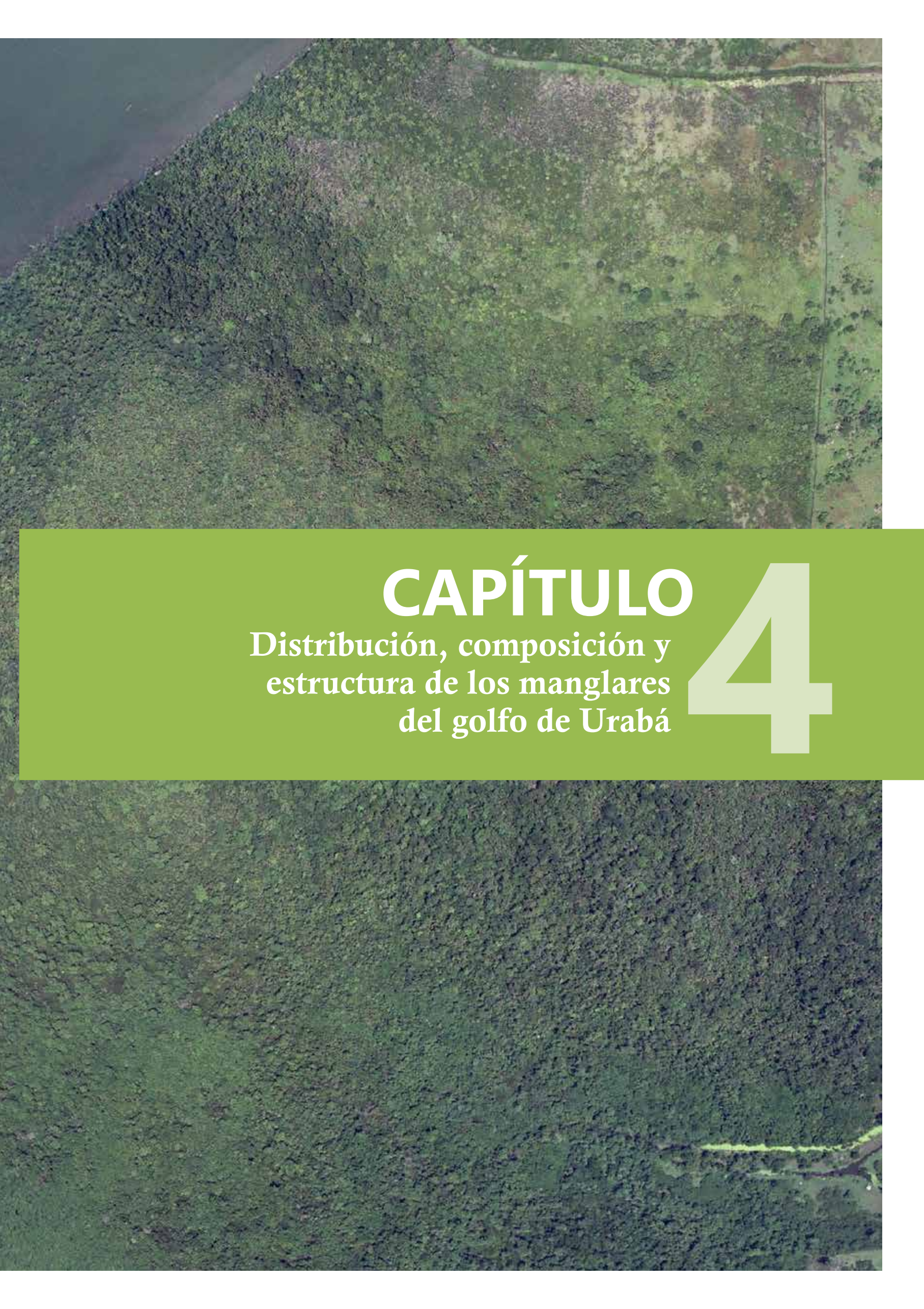
Finalmente, esta herramienta de información aporta bases científicas para la evaluación de impactos ecológicos derivados de la erosión de las cuencas, y de la sedimentación en las costas, los cuales demarcan la problemática ambiental más importante a nivel local en la zona de estudio (golfo de Urabá).

Expedición Estuarina- golfo de Urabá, Fase I, por su apoyo y acompañamiento. Finalmente, se agradece a todo el personal de la región del golfo de Urabá que colaboró con todas las actividades de mediciones de oleaje en las campañas de campo que, gracias a su conocimiento del Golfo, facilitó su realización. Entre ellos se destacan Harold Garcés, Carlos Garcés, Fernando Mosquera, Pedro y Leonardo.

REFERENCIAS

- Andrade A. 1993. *Análisis de la velocidad del viento en el mar Caribe*. Boletín Científico CIOH, 13:33-43.
- Agudelo P, Restrepo AF, Molares R, Tejada CE, Torres R, Osorio AF. 2005. *Determinación del clima de oleaje medio y extremal en el Caribe Colombiano*. Boletín Científico CIOH, 23:33-45.
- Álvarez AM, Bernal GR. 2007. *Estimación del campo de transporte neto de sedimentos en el fondo de Bahía Colombia con base en análisis de tendencia del tamaño de grano*. Revista Avances en Recursos Hidráulicos, 16:42-50.
- CORPOURABA. 2003. *Caracterización y zonificación de los manglares del golfo de Urabá –Departamento de Antioquia*. Proyecto Zonificación y Ordenamiento de los manglares de Urabá. Convenio 201671 FONADE-CORPOURABA. Apartadó, Colombia.
- Booij N, Ris RC, Holthuijsen LH. 1999. *A third generation wave model for coastal regions*. Journal of Geophysical Research, C4: 104:7649–7666.
- Correa ID, Vernet G. 2004. *Introducción al problema de la erosión litoral en Urabá (sector Arboletes-Turbo) Costa Caribe Colombiana*. Boletín de Investigaciones Costeras y Marinas. 33:7-28.
- Lonin S, Escobar CA. 2009. *Aspectos sobre modelación numérica de la evolución morfológica en el mar Caribe*. En: Alcántara J, Correa ID, Isla FI, Alvarado M, Klein AHF, Cabrera A, Sandoval R (eds.). *Métodos en teledetección aplicada a la prevención de riesgos naturales en el litoral*. Publicaciones del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Manuales CYTED. España
- Mesa O, Poveda G, Carvajal LF. 1997. *Introducción al clima de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia, Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Medellín, Colombia.
- Montoya LJ, Toro FM. 2006. *Calibración de un modelo hidrodinámico para el estudio de los patrones de circulación en el golfo de Urabá, Colombia*. Revista Avances en Recursos Hidráulicos, 13:37-54.
- Montoya RD, Osorio AF. 2007. *Los modelos de generación de oleaje de viento: características, evolución y futuras aplicaciones en Colombia*. Revista Avances en Recursos Hidráulicos, 15:47-74.
- Ortiz JC, Mercado A. 2006. *Estudio preliminar del impacto del oleaje de huracanes en la línea costera del departamento del Atlántico*. Boletín Científico CIOH, 24:48-59.
- Ortiz JC, López F, Estrada E, Bacca LF. 2008. *Estudio del oleaje generado por el huracán Joan en la Costa Caribe Colombiana en 1988, Incluyendo a la Isla Andrés*. Revista de la Sociedad Colombiana de Física, 40:444-446.
- Ortega S. 2010. *Estudio de aprovechamiento de energía del oleaje en Isla Fuerte (Caribe Colombiano)*. Tesis de Maestría. Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Osorio AF, Montoya RD, Mesa JC, Bernal GR. 2009. *Reconstrucción de cuarenta años de datos de oleaje en el mar Caribe colombiano, empleando el modelo WWIII™ y diferentes fuentes de datos*. Boletín Científico CIOH, 27:37-56.
- Restrepo J. 2002. *El estado de los manglares en Colombia*. Pp. 134-148. En: INVEMAR (Eds.). Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia. INVEMAR. Santa Marta, Colombia.
- ROM 03.91. 1991. *Recomendaciones para obras marítimas*. Recomendación para oleaje y atlas del clima marítimo en litoral Español. Puertos del Estado. Gobierno de España. < http://www.puertos.es/programa_rom/rom_03_91.html>.
- Sánchez-Páez H, Álvarez H, Pinto LR, Sánchez NF, Pino AA, García HI, Acosta PM. 1997. *Diagnóstico y zonificación preliminar de los manglares del Caribe de Colombia*. Ministerio de Medio Ambiente. Santa Fe de Bogotá D.C., Colombia.
- SWAN team. 2009. *Scientific and technical documentation*. Delft University of Technology.
- Young IR. 1988. *Parametric wave prediction model*. J. Waterways, Ports, Coastal and Ocean Engineering, 114:637-652.





CAPÍTULO

Distribución, composición y
estructura de los manglares
del golfo de Urabá

4

Distribución, composición y estructura de los manglares del golfo de Urabá

Ligia E. Urrego^{1,2}, Eliana C. Molina^{1,3}, July A. Suárez¹,
Hiara Y. Ruiz¹ y Jaime Polanía^{1,4}

¹Departamento de Ciencias Forestales,
Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, Antioquia, Colombia.
Carrera 59 A No. 63-20

²leurrego@unal.edu.co; ³ecmolinag@gmail.com; ⁴jhpolanaiav@unal.edu.co

Resumen: Se identificaron la estructura, composición florística y estado de conservación de los manglares del golfo de Urabá. Se identificaron tres tipos de manglares según la clasificación fisiográfica. De acuerdo al IVI, los manglares ribereños y de borde están dominados, en su orden, por *Rhizophora mangle* (mangle rojo o colorado), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco o bobo) y *Avicennia germinans* (mangle negro o de humo). En los de cuenca este orden se invierte, y es *A. germinans* la dominante, seguida por *L. racemosa* y *R. mangle*. En los tres tipos se registran en menor proporción especies del bosque aluvial, como *Pterocarpus officinalis*. Pequeños fragmentos de manglar intervenidos y/o en estado sucesional temprano están dominados completamente por *R. mangle*. En los bosques aluviales, *Raphia taedigera*, *Pachira aquatica*, *Montrichardia arborescens* y *P. officinalis* fueron las especies más importantes. En general, las distribuciones de diámetros y de alturas son predominantemente en forma de "J" invertida, lo que sugiere una buena capacidad de regeneración y sobrevivencia de los individuos. Por el contrario, los manglares de punta Yarumal y punta Las Vacas presentan distribución diamétrica en forma de campana, que señala un bajo estado de conservación, asociado a la sobreexplotación de los recursos maderables. Los demás sitios estudiados muestran buen desarrollo estructural, pero pobre de conservación, especialmente en el delta del río Atrato. En este sitio se presenta el molusco bivalvo barrenador *Neoteredo reynei* y de canchales en los árboles de *R. mangle*. La explotación desmedida de los recursos de los bosques (principalmente varas y para construcción y elaboración de carbón) ha limitado el crecimiento y la salud de estos ecosistemas. Es necesario establecer políticas claras de conservación, así como planes de manejo y ordenación de los manglares, concertados con las comunidades locales; para que ellas puedan seguir obteniendo, sosteniblemente, bienes y servicios de los bosques. Igualmente es indispensable identificar los agentes causales del deterioro fitosanitario de los manglares, para incorporar su manejo en planes de conservación en el futuro inmediato.

Abstract: Structure, floristic composition and conservation status of mangroves of the Gulf of Urabá were assessed. Three physiographic mangrove types were identified. While the fringe and riverine mangroves are dominated by *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* and *Avicennia germinans*, in the basin mangroves the importance order of these species is inverted, and *A. germinans* is the dominant species followed by *L. racemosa* and *R. mangle*. Other species from the alluvial forest, such as *Pterocarpus officinalis*, are also found in the mangrove forests. In the alluvial forests, *Raphia taedigera*, *Pachira aquatica*, *Montrichardia arborescens* and *Pterocarpus officinalis* are the dominant species. Small mangrove fragments in an early successional stage are dominated by *R. mangle*. In general, diametric and height distributions showed predominantly an inverted 'J' shape, suggesting good potential for regeneration and forest survival. Mangroves located at Punta Yarumal and Punta de Las Vacas showed a Gaussian bell-shaped diametric distribution, indicating a poor conservation status, related to timber overexploitation. Although the vegetation structure of mangroves located in other localities of the Gulf of Urabá, shows a good structural status, they exhibit a poor conservation status; especially in mangroves located in the Atrato River delta. Such a state could be associated with their poor phytosanitary condition related to the attack of the boring bivalve mollusk *Neoteredo reynei* (shipworm), and the massive infection of cankers in trees. The excessive timber exploitation has limited growth and health of trees in these ecosystems. A clear mangrove conservation policy for sustainable use and community concerted forest management plans are needed, in order to guarantee either the conservation of the forests and goods and services for local people. Research focused on the identification of causal agents of diseases, should be included in the design of future management and conservation plans of these mangroves.

INTRODUCCIÓN

Los manglares son ecosistemas compuestos por especies tanto halófilas (tolerantes a la salinidad) como no halófilas, localizados generalmente en las zonas intermareales entre la tierra firme y el mar, en latitudes tropicales y subtropicales (Kathiresan y Bingham, 2001). Su distribución, estructura y composición están influenciadas por factores físicos, bióticos y antrópicos (Lugo y Snedaker, 1974). En términos ecológicos, actúan como grandes sumideros naturales de CO₂ (Magrin et al., 2007), y son eslabones importantes en la cadena trófica en tanto que enlace de energía entre todos los niveles en sistemas secundarios; por tanto, constituyen cuna de muchas especies animales marinas y fuente de alimento para el ser humano (Robertson y Duke, 1987).

La composición y estructura de los manglares dependen de un juego de variables ambientales, que permiten el establecimiento de las especies vegetales según sus adaptaciones. Por ejemplo, *Avicennia germinans* ('mangle negro' o 'de humo') tolera altos niveles de salinidad (Sobrado 2006), excreta el exceso de sal a través de glándulas ubicadas en las hojas. *Rhizophora mangle* ('mangle rojo', 'canillón' o 'colorado') posee raíces aéreas que posibilitan un adecuado flujo de oxígeno en ambientes anegados, además de afianzarla en los suelos inestables de la línea de costa; y sus hojas cerosas le ayudan a conservar el agua en ambientes salinos (Hogarth, 2007). *Laguncularia racemosa* ('mangle blanco' o 'bobo') crece en ambientes con una salinidad media y tiende a expandirse en zonas abiertas, como vegas de ríos y quebradas, o relacionadas con la perturbación natural o antrópica (Tomlinson, 1986; Benfield et al., 2005).

Los diversos patrones estructurales y de composición florística de los manglares revelan su respuesta a gradientes ambientales y cambios en la salinidad, la geomorfología y la hidrología (Twilley, 2003). Lugo y Snedaker (1974) propusieron cinco tipos fisiográficos, cada uno de ellos caracterizado por la dominancia de diferentes especies: a) de borde o franja; b) ribereño; c) sobrelavado; d) de cuenca, y e) enano. Los manglares de borde y ribereños

presentan varias especies usualmente dispuestas en franjas paralelas a línea de costa. Los de sobrelavado, cuenca y enano son comúnmente monoespecíficos. En el Caribe colombiano, y especialmente en el golfo de Urabá, se encuentran manglares de borde y ribereños dominados por *R. mangle*, que ocupan la franja frente al mar, y de cuenca, con especies como *A. germinans* ocupando terrenos más elevados tierra adentro, con salinidades altas (von Prah, 1989). En ambientes con mayor influencia fluvial se pueden encontrar en los manglares especies asociadas, tales como *Acrostichum aureum* ('matatigre') y *Pachira aquatica* ('salero') que, aunque no tienen las mismas adaptaciones que los verdaderos mangles, hacen parte de este complejo ecosistémico (Medina et al., 1995). INVEMAR-CORPOURABA (2003) identificaron especies no halófitas rodeando los manglares, las cuales pueden formar asociaciones como los *panganales* (dominados por la palma *Raphia taedigera*), y los *arracachales* (Linares-Prieto, 1988), dominados por *Montrichardia arborescens*, los cuales permanecen inundados por aguas dulces y salobres durante nueve meses al año.

Los manglares del Caribe colombiano, específicamente del golfo de Urabá (Antioquia), proveen bienes y servicios ambientales y sostienen actividades económicas locales (Ministerio de Medio Ambiente, 2002). En especial, se destaca el uso de la madera para construcción y producción de carbón (von Prah, 1989; Sánchez-Páez et al., 1997). La explotación ha sido intensa y los ha deteriorado fuertemente, lo que motivó el análisis de su distribución y estructura actual, así como la de ecosistemas forestales aledaños en el golfo de Urabá, y el papel que juegan las comunidades locales en su conservación. Este trabajo fue realizado en el marco del proyecto *Expedición Estuarina-golfo de Urabá, Fase 1*, con fondos de la Gobernación de Antioquia y participación de investigadores de las universidades Nacional de Colombia, Sede Medellín, de Antioquia y EAFIT, con el objetivo de identificar los ecosistemas de manglar mediante fotografías aéreas a escala 1:10.000, establecer su extensión, composición y estructura, y evaluar su estado actual de conservación.

ANTECEDENTES

En Colombia se han registrado nueve especies de mangles, las cuales siguen una zonación desde la línea de costa hacia el continente (Sánchez-Páez et al., 1997). Las mayores extensiones del Caribe colombiano están en los deltas de los grandes ríos, entre ellos el Atrato, en el golfo de Urabá; donde sus características estructurales, especialmente el diámetro y altura promedio de los árboles (17 cm y 8 m, respectivamente), son menores que los del litoral Pacífico, donde pueden alcanzar hasta 25 m de altura promedio (Sánchez-Páez et al., 1997). CORPOURABA (2003) calculó la extensión de manglar en el golfo de Urabá en 6993 ha en el año 2003.

Los manglares más extensos en el golfo de Urabá en 2003, se encontraban en bahías Marirrío, Candelaria, El Roto, El Rotico y La Paila, hacia el margen suroccidental, que hacen parte del delta del río Atrato, con 4683 ha; en la periferia y al sur de Turbo, zona oriental, se identificaron pequeños parches (191 ha en la bahía El Uno y punta Yarumal); mientras 550 ha se ubicaron al norte de la población de Necoclí, y la ensenada de Rionegro; en el sector nororiental cerca de Arboletes y San Juan, manchones aislados abarcaban 54 ha (Sánchez-Páez et al., 1997; CORPOURABA, 2003).

Rhizophora mangle, en diferentes etapas de desarrollo, es dominante y, en ocasiones, está acompañada por *L. racemosa* y *A. germinans*, que alcanzan alturas de 6 y 12 m, respectivamente. Por otro lado, *Pelliciera rhizophorae* se encuentra en franjas pequeñas tierra adentro, mezclada con *R. mangle*, formando parches y protegida de la influencia hídrica directa, en suelos parcialmente estables, específicamente en la bahía Marirrío y alrededor de punta Coquito (Sánchez-Páez et al., 1997; CORPOURABA, 2003; INVEMAR-CORPOURABA, 2003) (figura 4.1).

Detrás de los manglares, tierra adentro, aparece una asociación conocida como *arracachal*, inundada por aguas dulces y salobres durante nueve meses al año, dominada por *Montrichardia arborescens* (Linares-Prieto, 1988). También se encuen-

tran *ranconchales*, dominados principalmente por el helecho del manglar *Acrostichum aureum* (matatigre), por otros helechos no identificados, y esporádicamente por *M. arborescens*. Algunos pastos y vegetación flotante cubren múltiples depresiones interiores y proliferan en zonas de fuertes aclareos y aprovechamientos desordenados.

Los *panganales*, bosques dominados por la palma *Raphia taedigera*, se encuentran en mayor proporción en el delta del río Atrato, en el área más estable de las riberas de río, sin influencia de las mareas, junto a *Erythrina fusca* ('chachafruto') y *Cecropia burriada* ('guarumo' o 'yarumo') (INVEMAR-CORPOURABA, 2003). Forman también parte de esta vegetación *Pachira aquatica* ('salero'), *Inga spuria* ('guamo'), *Prioria copaifera* ('cativo'), diversas especies de *Heliconia* ('platanillos') y *Calathea lutea* ('bijao'), con distribuciones muy locales o irregulares.

La vegetación flotante, conformada por *Eichornia azurea* ('oreja de mula'), *Pistia striatiotes* ('lechuga') y *Limnocharis flava*, contribuye a formar los denominados "tapones" de los ríos o caños tributarios del río Atrato, especialmente durante las lluvias donde, por el incremento en el nivel de las aguas, se produce el "destaponamiento" hacia el cauce principal, formando a menudo "islotes de vegetación flotante que vagan a lo largo del río" (INVEMAR-CORPOURABA, 2003).

Las condiciones ambientales del golfo de Urabá incluyen mareas bajas, con una altura media inferior a 0,5 m (Francois et al., 2007) y precipitación promedio de 2.400 mm, una marcada influencia del agua dulce e inundaciones máximas promedio de 20 cm. La interacción río-océano se refleja no solo en la distribución de la vegetación, sino también en los patrones de salinidad del agua en el Golfo. Mientras en la época seca las aguas superficiales presentan salinidades entre 2–26‰, con un fuerte gradiente desde la parte interna hacia la externa del Golfo, en la época húmeda la salinidad del agua superficial oscila entre 0,8–35,5‰ (Francois, 2007).

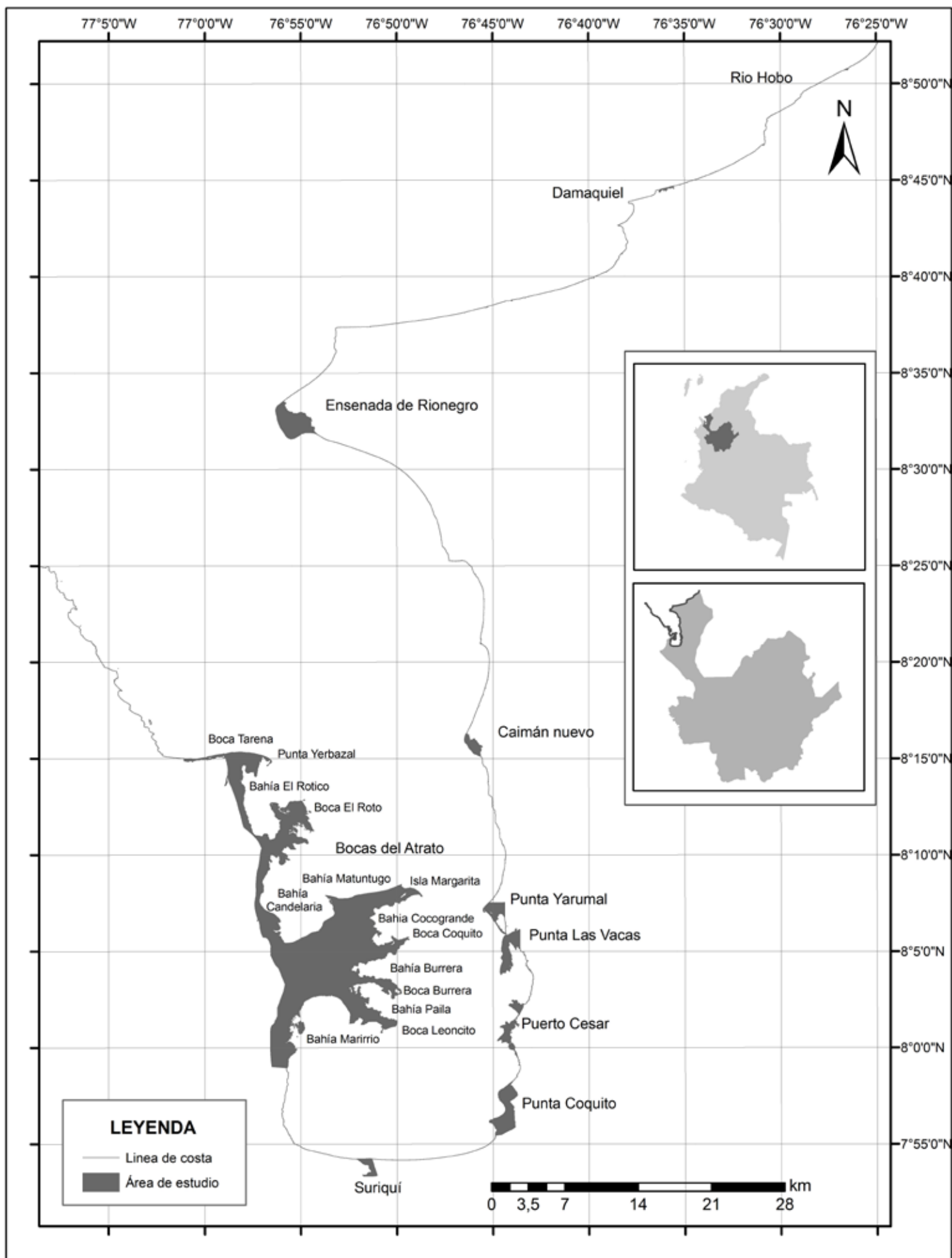


Figura 4.1. Ubicación de los manglares en el golfo de Urabá.

Globalmente, la transformación del bosque de manglar para usos diferentes a la conservación se atribuye a proyectos de desarrollo turístico, obras civiles, camaronicultura, cultivos de coco, palmito y arroz, no compatibles con los suelos manglárnicos (OIMT, 2002). En el Caribe colombiano y, en especial en el golfo de Urabá, los manglares están deteriorados por diversas formas de explotación, que transforman la hidrología y alteran la dinámica natural (Casas-Monroy y Perdomo-Trujillo, 2001). La deforestación amenaza tanto el bosque como a las especies de mamíferos, reptiles, aves y diversos invertebrados que lo utilizan como su hábitat temporal o permanente (INVEMAR, 2007).

En el golfo de Urabá el impacto principal es la extracción de tallos de *R. mangle* para reparación de embarcaciones, leña, construcción de viviendas (varas y pilotes), y diferentes actividades productivas y domésticas (CORPOURABA, 2003). Otra amenaza para los manglares es el deterioro en sus condiciones fitosanitarias: canchros en los tallos de los árboles y la acción del molusco teredínido perforador, *Neoteredo reynei*, que afecta en especial a *R. mangle* y, en menor proporción, a *L. racemosa*. El molusco asciende por las raíces, hasta perforar el fuste (tronco), debilita la estructura y provoca la caída

del árbol (Sánchez-Alfárez et al., 2009). Aunque Sánchez-Alfárez et al. (2009) atribuyen los canchros a *Agrobacterium tumefaciens*, su origen en el golfo de Urabá es aún desconocido, pues debe tenerse en cuenta que Barnard y Freeman (1982) y Tomlinson (1986) señalan al hongo *Cylindrocarpon didymum* como su causante en otros manglares del mundo.

Las políticas, leyes y controles actuales son insuficientes, y contribuyen así a la destrucción y degradación de los manglares (OIMT, 2002). Los impactos de su degradación generan pérdida de biomasa vegetal, desaparición de nichos ecológicos, disminución de la biodiversidad, formación de playones salinos, reducción del porte y vigor de los árboles, sedimentación de los cuerpos de agua; y pérdida de playas y costas por la erosión marina. Duke et al. (2007) señalaron la necesidad de estructuras de gobierno eficaces, políticas socioeconómicas y estrategias de educación para: (i) conservar, proteger y restaurar los manglares; (ii) invertir la tendencia de pérdida, que haría más vulnerables a las comunidades locales frente a fuertes vientos, mareas y marejadas; y (iii) asegurar que las generaciones futuras disfruten de los servicios proporcionados por tan valioso ecosistema.

MÉTODOS

Cartografía

Para establecer un escenario de referencia actual de los manglares del golfo de Urabá, se elaboró, a partir del análisis de fotografías aéreas a escala 1:10.000 de 2009, un mapa de coberturas, sobre el cual se clasificaron los manglares y la vegetación aledaña entre boca Tarena (parte norte del delta del río Atrato) y la ensenada de Rionegro. La digitalización de las coberturas vegetales se realizó con el programa ArcGis 9,3 (ESRI, Inc., Redlands, CA).

Parcelas de muestreo

Para caracterizar la vegetación del manglar se establecieron 112 parcelas circulares de 500 m², entre septiembre de 2009 y enero de 2010 distribuidas aleatoriamente: 96 en manglares de planos interma-

reales, 12 en bosques aluviales en pantanos y cuatro en *arracachales* de diques en el delta del río Atrato, Puerto César, punta Coquito, punta Yarumal, punta Las Vacas y la ensenada de Rionegro (figura 4.1).

En cada parcela se identificaron todos los árboles con diámetro a la altura del pecho (DAP) >5 cm. A cada uno de ellos se le midió la altura, el DAP o diámetro por encima de las raíces aéreas (cuando el sistema radicular de *R. mangle* así lo exigía), y se colectaron muestras botánicas para su identificación taxonómica. Dentro de estas parcelas se levantaron dos subparcelas cuadradas de 4 m², donde se identificaron y midieron los individuos con DAP entre 2,5–5,0 cm. Así mismo, se levantaron tres parcelas cuadradas de 1 m², donde se midieron las alturas y diámetros de individuos con DAP <2,5 cm.

Caracterización de las coberturas vegetales

Con el muestreo de campo se determinaron los parámetros estructurales y florísticos de la vegetación, así como su estado fitosanitario:

1. Densidad (D): número de individuos por unidad de superficie y por especie.
2. Área basal (AB)/Árbol: es el área ocupada por la sección transversal de un árbol. Se calcula con base en el DAP, así: $AB (m^2/ha) = (\pi \cdot DAP^2)/4$
3. Estructura diamétrica: distribución de frecuencias de los árboles en categorías diamétricas de 5 cm.
4. Estructura de alturas: distribución de frecuencias de los árboles en categorías de altura total de 5 m.
5. Índice de Valor de Importancia (IVI): da cuenta de la riqueza y abundancia de especies, y cómo se distribuyen (Lamprecht, 1990), se calcula a través de la suma de la abundancia relativa (Ar), frecuencia relativa (Fr) y dominancia relativa (Dr), como: $IVI = Ar + Fr + Dr$.
6. Estado fitosanitario: se calculó el porcentaje de individuos con DAP > 10 cm con canchales en cada parcela.
7. Cuando se notó la presencia de barrenadores, se desmenuzaron raíces y troncos en descomposición para verificar su presencia.
8. Se realizaron análisis de varianza de una vía y pruebas de rangos múltiples para comparar las características ambientales entre los manglares, por medio del software (STATGRAPHICS Centurion XV, Version 15.1.02).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el golfo de Urabá (figuras 4.1–4.5) se identificaron tres de los tipos de manglares descritos por Lugo y Snedaker (1974): *borde*, *cuenca* y *ribereño*; un manglar muy intervenido y/o en estado sucesional temprano y otros cuatro tipos de vegetación no halófila. Los diferentes tipos de manglares se encuentran en parches aislados con diferencias en extensión, desarrollo estructural de la vegetación, composición florística y estado de conservación. La salinidad fue, en general, baja (entre 2–15‰), medida tanto en época seca como en húmeda. Los niveles de inundación oscilaron entre 0–22 cm (tabla 4.1). Las características ambientales medidas fueron muy variables y se traslaparon entre tipos de manglares. Sin embargo, se registraron diferencias estadísticamente significativas entre algunas de ellas, entre los diferentes tipos de manglar como se presenta en su descripción.

Los tipos de manglares fueron: (i) de borde, ubicados sobre la línea de costa frente al mar, con inundaciones permanentes, dominado por *R. mangle* y sobre sustratos orgánicos, pero con mayores porcentajes de limo (tabla 4.1) ($F_{3,80} = 12,7$, $P < 0,01$) y arcilla ($F_{3,79} = 3,48$, $P < 0,05$) que los ribereños (ii), que se encuentran en zonas con

influencia aluvial marcada; siguiendo al de borde, con mayores contenidos de materia orgánica en el suelo ($F_{3,80} = 11,75$, $P < 0,01$) que éstos, dominados por *R. mangle*, pero con presencia de las otras especies de manglar y algunas del bosque aluvial; (iii) de cuenca, localizados tierra adentro, por lo general, en zonas sobre sustratos más arenosos ($F_{3,80} = 4,86$, $P < 0,05$), con inundación ocasional, mayor salinidad ($F_{3,80} = 4,62$, $P < 0,05$), mayor capacidad de cambio catiónico ($F_{3,80} = 5,58$, $P < 0,05$) que los otros tipos de manglar, y dominados por *A. germinans*. Adicionalmente, se encontró un manglar muy intervenido y/o en estado sucesional temprano (iv), con características ambientales similares a las del manglar ribereño, con escasos individuos adultos de *R. mangle*, y abundante regeneración de esta especie (tabla 4.1; figuras 4.2–4.5).

Las coberturas vegetales diferentes de los manglares (vegetación aledaña, de acuerdo con la tabla 4.1) fueron: (i) bosques aluviales, dominados por las palmas *R. taedigera* y *Euterpe oleraceae*, caracterizados por inundación aluvial permanente, poca o nula influencia marina, de allí la baja salinidad, altos contenidos de materia orgánica en los suelos, y localizados principalmente en

Tabla 4.1. Principales parámetros ambientales de las coberturas y sitios con manglares en el golfo de Urabá en 2009 (promedios \pm desviación estándar, n = número de parcelas muestreadas).

Sitio	Cobertura	Salinidad (ppm)	pH agua	Inundación (cm)	<i>A. aureum</i> %	Materia orgánica %	Fracción granulométrica (%)		
							Arena	Limo	Arcilla
Delta del río Atrato	M. de borde (n=25)	5,3 \pm 3,8	7,0 \pm 0,5	7,7 \pm 12,7*	32,8 \pm 36,8*	31,0 \pm 13,19	15,6 \pm 24,4*	15,1 \pm 22,6*	5,3 \pm 9,5*
	Bosque aluvial (n=10)	0,1 \pm 0,1	7,1 \pm 0,3	30,3 \pm 44,8*	1,6 \pm 2,2*	20,5 \pm 16,2	12,2 \pm 12,9*	24,6 \pm 22,6	23,2 \pm 21,1
	Arracachal (n=4)	0,2 \pm 0,2	6,9 \pm 0,8	34,0 \pm 33,9	0	4,7 \pm 2,6	17,0 \pm 5,3	58,5 \pm 2,5	24,5 \pm 5
Pto César-Pta Coquito	M. de borde (n=2)	7,3 \pm 7,4*	6,8 \pm 0,4	0,9 \pm 1,47*	23,7 \pm 38,6*	23,5 \pm 17,8	15,8 \pm 24,8*	25,6 \pm 26,85*	18,6 \pm 21,52*
	Bosque aluvial (n=10)	0,8 \pm 0,0	6,6 \pm 0,4	5,0 \pm 0,0	25,0 \pm 35,4*	43,6 \pm 1,2	0	0	0
Pta Yarumal-Pta Las Vacas	M. de borde (n=4)	15,7 \pm 0,7	7,2 \pm 0,2	**	**	9,6 \pm 4,3	40,5 \pm 22,1	46 \pm 20,8	13,5 \pm 3
	M. de cuenca (n=14)	13,3 \pm 3,8	6,8 \pm 1,1	**	**	7,0 \pm 4	49 \pm 25,91	41,71 \pm 21,64	9,3 \pm 5,7
Ens. de Rioneg.	M. de borde (n=6)	5,0 \pm 7,6*	6,0 \pm 0,8	13,0 \pm 7,5	15 \pm 28,1*	39,3 \pm 19	16 \pm 39,19*	0,3 \pm 0,8*	0,3 \pm 0,8*
	M. ribereño(n=17)	6,5 \pm 7,15*	6,3 \pm 0,6	12,3 \pm 6,2	12,6 \pm 27,3*	37,0 \pm 15,7	12 \pm 32,8*	0,2 \pm 0,7*	0,3 \pm 0,7*
	M. intervenido (n=9)	8,2 \pm 7,2	6,3 \pm 0,8	14,0 \pm 8	6,7 \pm 16*	35,8 \pm 18,8	20,2 \pm 40,2*	1,3 \pm 2,8*	0,7 \pm 2*

* Datos muy dispersos, con datos que incluyen 0

** Sin información

las zonas traseras de los manglares en el delta del río Atrato, Puerto César y punta Coquito; (ii) arracachales, dominados por *M. arborescens* en algunas márgenes de las corrientes de agua dulce, formando franjas muy delgadas en los bordes de los manglares, los bosques aluviales y en los cauces abandonados de los ríos; (iii) ranconchales, dominados por *A. aureum*, forman islas cerca de los manglares o bajo el dosel de los más intervenidos, en agrupamientos densos, y (iv) pastizales, que aparecen en zonas de sedimentación reciente y/o donde las coberturas boscosas han sido eliminadas (figuras 4.2–4.5).

El manglar más extenso está en el delta del río Atrato, y abarca el 78,3% de los manglares del Golfo (tabla 4.2). La predominancia del manglar de borde (figura 4.2) en esta zona puede relacionarse con la baja salinidad promedio (5,3‰), y el régimen de inundación fluvial permanente derivado de los múltiples caños y corrientes del río Atrato. Su buen estado de conservación se debe, probablemente, a las dificultades de transporte entre este sitio y los centros poblados; lo cual limita también la expansión rápida de las fronteras agropecuaria y/o urbana.

Los manglares de la ensenada de Rionegro cubren el 7,2% de estos bosques en el golfo de Urabá (figura 4.3, tabla 4.2). Se distribuyen en manglar de borde (52,2 ha), ribereño (240,7 ha) y en estado sucesional temprano (49,1 ha). CORPOURABA (1992) clasifica este sitio como *Reserva Natural* y no existen registros de extracción de madera; sin embargo, en algunos fragmentos son evidentes antiguos procesos de intervención antrópica: muerte en pie de un gran número de árboles adultos, debajo de los cuales se registra regeneración abundante y homogénea de *R. mangle*, que constituye el tipo de manglar intervenido y/o en estado sucesional temprano.

Los bosques de Puerto César y punta Coquito ocupan 8,3% de los manglares del Golfo (tabla 4.2); son de borde, poco fragmentados (figura 4.4), pese a la cercanía al centro urbano. Finalmente, en punta Yarumal y punta de la Vacas, cerca del área urbana de Turbo (figura 4.5), se encuentran fragmentos de manglares de borde (47,4 ha), cuenca (97,2 ha) e intervenido (40,2 ha), que sumados ocupan al 3,8% de los manglares del Golfo, con claras evidencias de intervención antrópica frecuente.

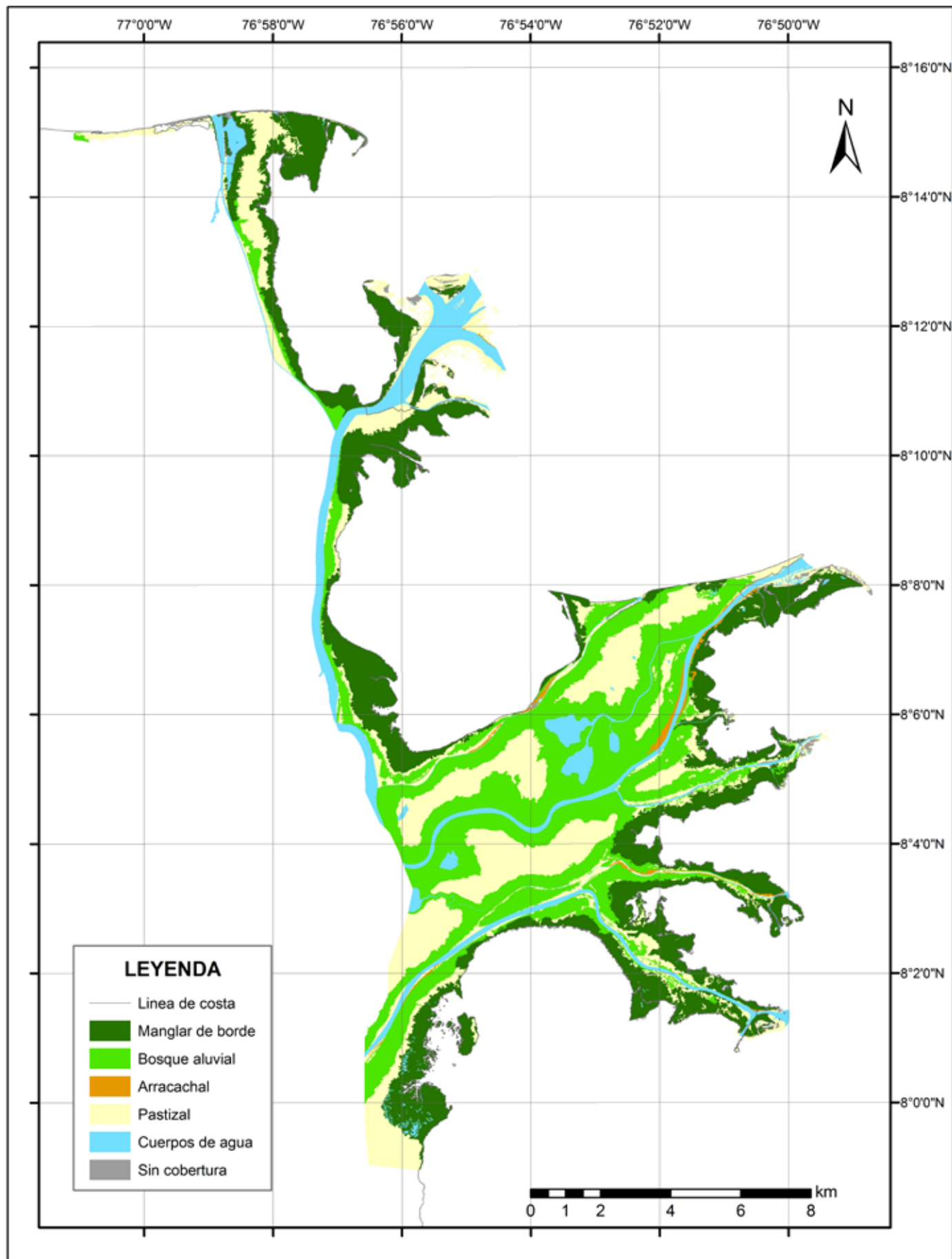


Figura 4.2. Mapa de coberturas vegetales en el sector del delta del río Atrato (golfo de Urabá) en septiembre de 2009

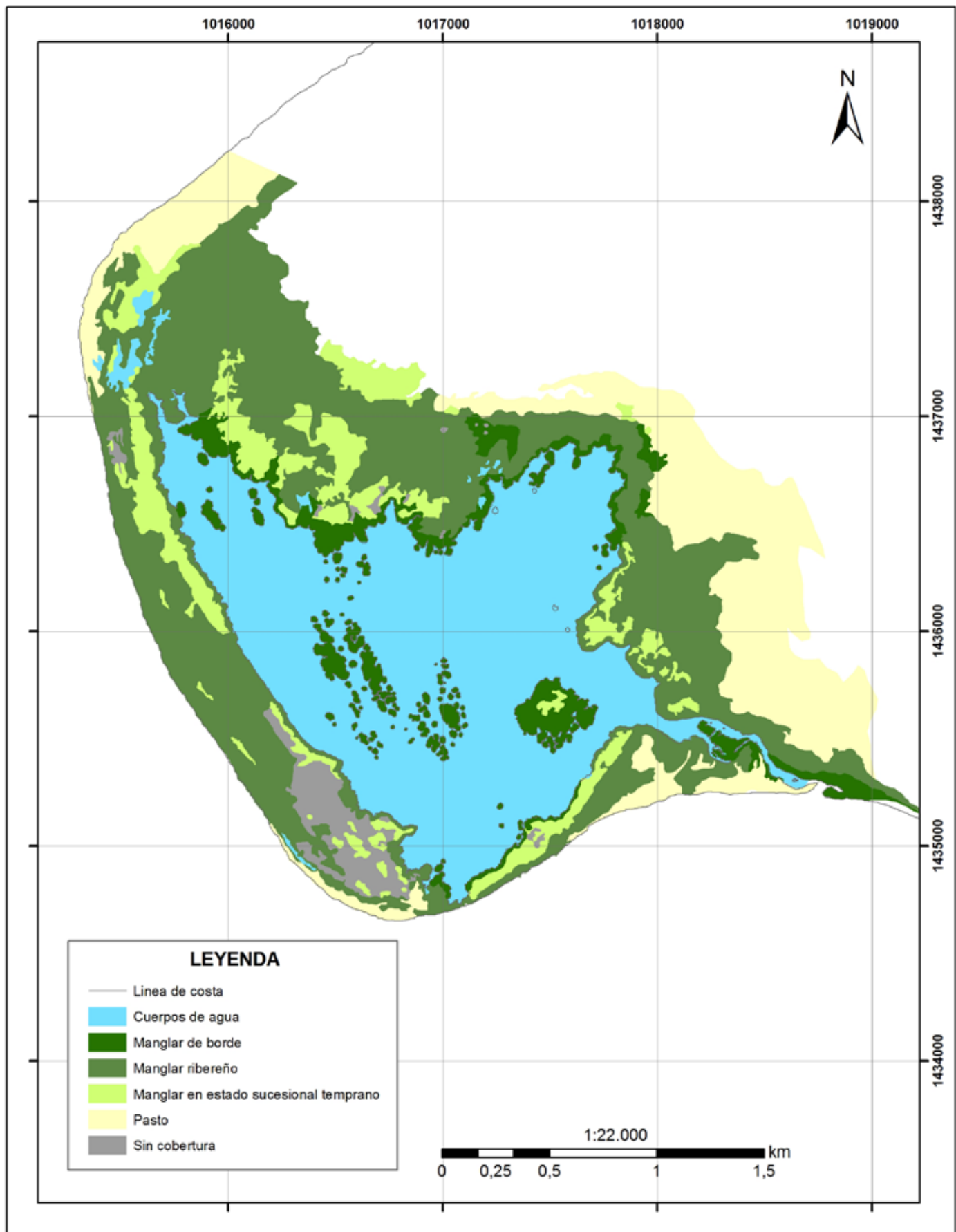


Figura 4.3. Mapa de coberturas vegetales en el sector de ensenada de Rionegro (golfo de Urabá) en septiembre de 2009.

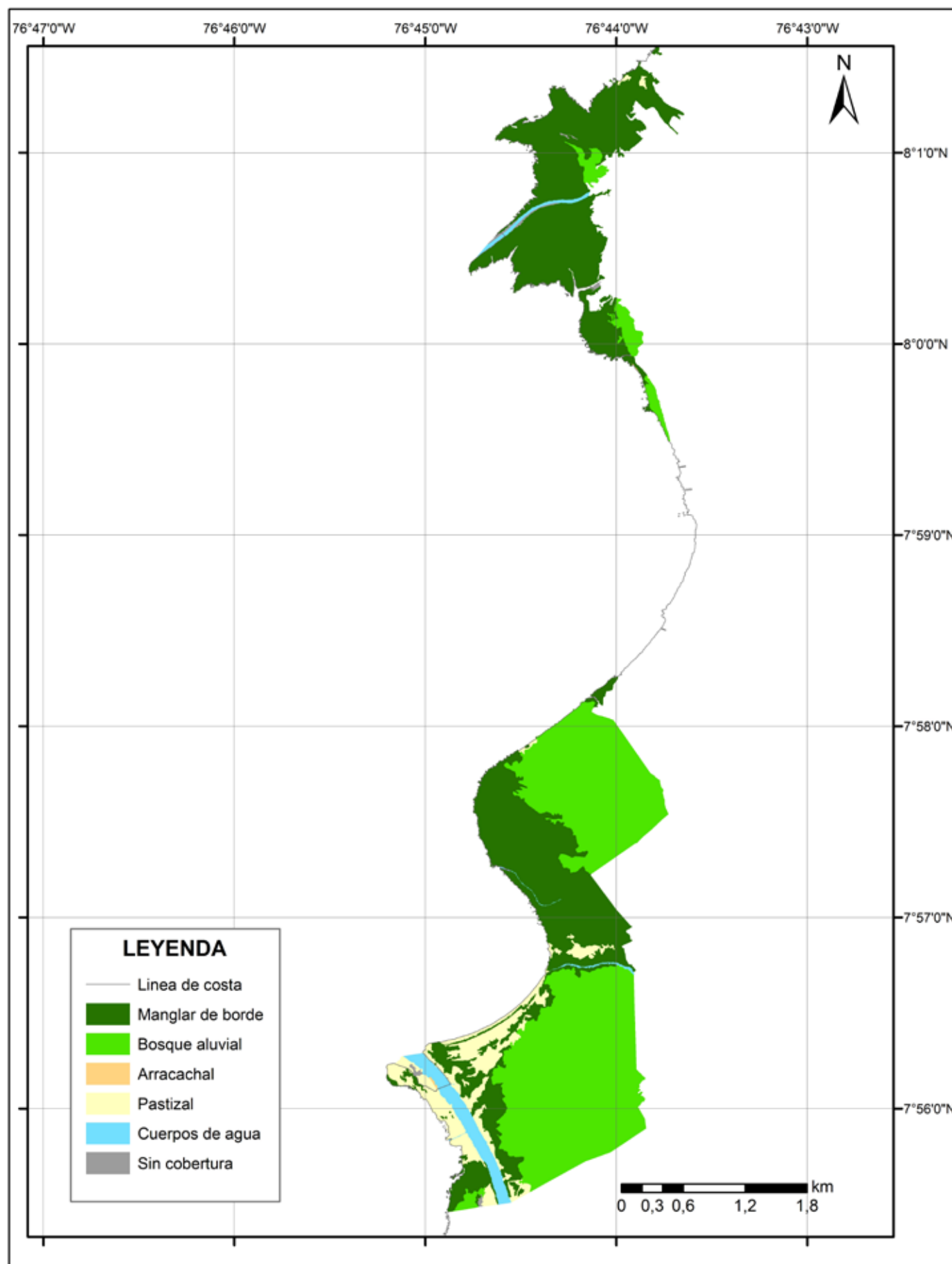


Figura 4.4. Mapa de coberturas vegetales en el sector punta Coquito-Puerto César (golfo de Urabá) en septiembre de 2009

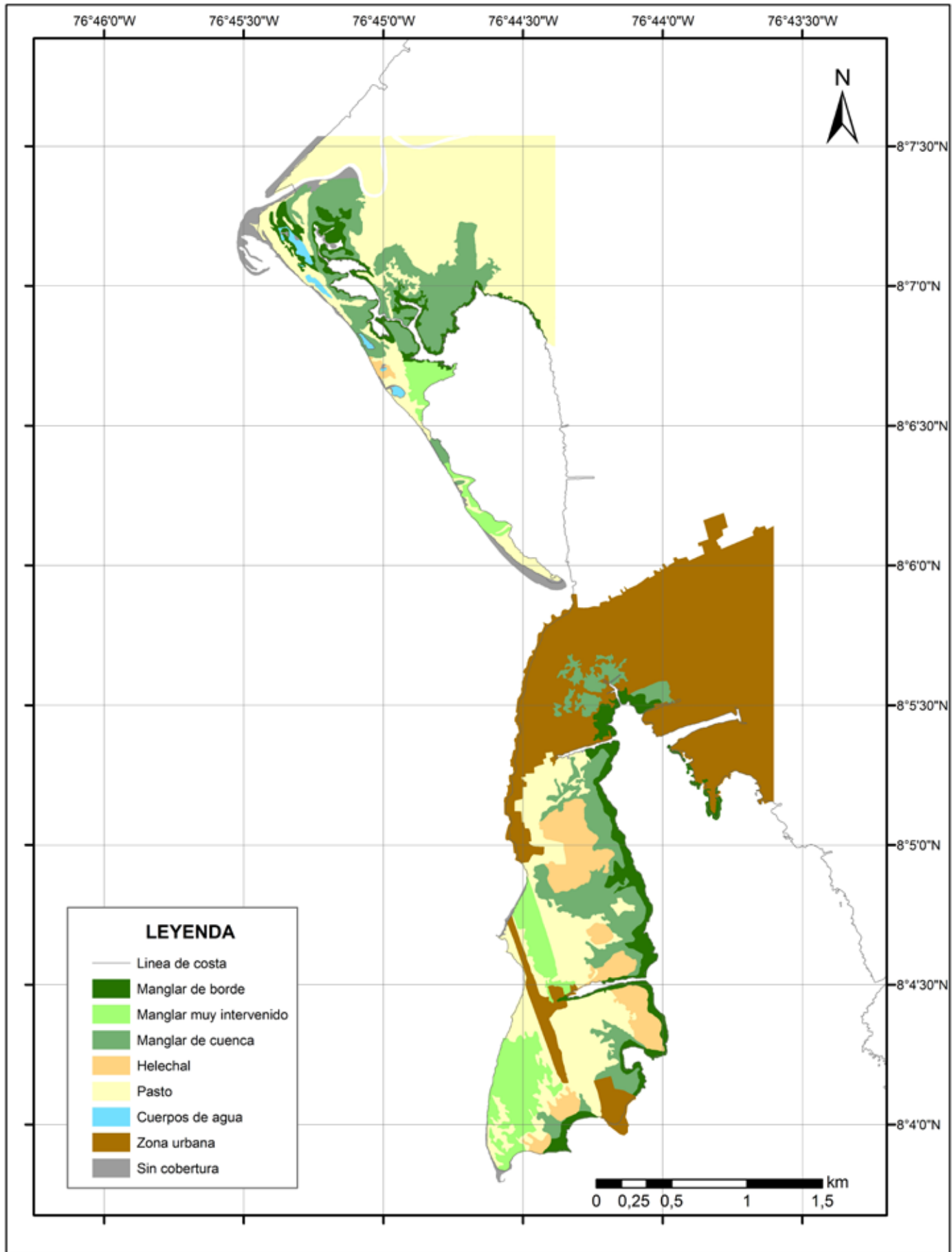


Figura 4.5. Mapa de coberturas vegetales en el sector punta Las Vacas-Yarumal (golfo de Urabá) en septiembre de 2009.

Tabla 4.2. Superficie ocupada (en ha) por los diferentes tipos de manglar y vegetación aledaña en el golfo de Urabá en 2009.

Cobertura	Delta del río Atrato	Puerto César- punta Coquito	Punta Yarumal - punta Las Vacas	Ensenada de Rionegro	Otros sitios*	Total
Manglar de borde	3845,4	405,9	47,4	52,2	158,2	4509,1
Manglar de cuenca	0	0,0	97,2	0	0	97,2
Manglar ribereño	0	0	0	240,7	0	240,7
Manglar intervenido y/o en recuperación	0	0	0	61,7	0	61,7
Subtotal manglar	3845	406	144,6	354,6	158	4908,7
Bosque aluvial	3903,9	382,4	0,0	0,0	60,9	4347,2
Vegetación aledaña al manglar	3667,3	61,9	293	0	60,6	4082,5

* hace referencia a los manglares de las localidades de Suriquí, Caimán nuevo, Damaquiel y río Hobo.

En esta zona, la extracción de madera para carbón ha generado claros dentro del manglar, en tanto que la expansión de la frontera agropecuaria lo ha reducido algunas áreas (Ministerio de Medio Ambiente, 2002).

Parámetros estructurales

La estructura es variable entre los tipos de manglar (tabla 4.3) y se relaciona, principalmente, con las diferencias en las características texturales de los suelos, la influencia aluvial y, probablemente, con la perturbación antrópica en algunas áreas, como ya se explicó. El manglar de borde presenta el mejor desarrollo estructural en el delta del río Atrato y en la ensenada de Rionegro, con diámetros promedios de 17,1 y 10,4 cm, respectivamente, y alturas promedio de 7,7 y 13,0 m, respectivamente. Así mismo, el manglar ribereño de la ensenada de Rionegro muestra mayores diámetros (15,3 cm) y alturas promedio (9,8 m) que el de cuenca de punta Yarumal - punta Las Vacas (promedios de 5,4 cm de diámetro y 7,3 m de altura) (tabla 4.3). El mejor desarrollo estructural de los manglares en las dos primeras zonas se puede atribuir, inicialmente, a mejores condiciones de los suelos y, en segundo lugar, al estado de conservación, pues CORPOURABA (1992) declaró *Reserva Natural* los de la ensenada de Rionegro: y no permite su explotación. En el delta del río Atrato, la comunidad vecina no explota el manglar que, además, está lejos para los pobladores de Turbo, aunque hay extracciones ilegales esporádicas y a pequeña escala. El bosque aluvial también presenta diferencias estructurales entre sitios. En el delta del

río Atrato hay mayores promedios de diámetro, altura y densidad de árboles (20,12 cm, 8,18 m y 850 individuos/ha, respectivamente) en comparación con los de Puerto César y punta Coquito (tabla 4.3), sitios en los que la explotación del bosque es mayor, por su cercanía a la ciudad de Turbo.

En el delta del río Atrato y en Puerto César-punta Coquito: *P. rhizophorae* incrementa la diversidad del manglar de borde a cuatro especies, mientras que en los otros sólo se registraron dos o tres. Igualmente, en el delta del río Atrato el bosque aluvial es más diverso, con 14 especies. En el manglar de cuenca, tanto en la ensenada de Rionegro como en punta Yarumal-punta Las Vacas, aparecieron en su orden *A. germinans*, *R. mangle* y *L. racemosa* (tabla 4.3).

Estructura horizontal

A continuación se describen las distribuciones diamétricas de los árboles con DAP > 5 cm, de las coberturas muestreadas agrupadas por áreas de muestreo (figura 4.6). En conjunto, las distribuciones de frecuencias de diámetros de tres de los cuatro sitios de muestreo presentaron forma de "J" invertida (o exponencial negativa) en los manglares de borde, ribereño y bosque aluvial (delta del río Atrato, Puerto César-punta Coquito y ensenada de Rionegro). Esta distribución es característica de bosques disetáneos (en donde se presenta un alto número de individuos en las primeras clases de diámetro y descienden progresivamente hacia las clases mayores) o en estados sucesionales avanzados (Rollet, 1980).

Tabla 4.3. Principales parámetros estructurales de las coberturas y sitios con manglares en el golfo de Urabá en 2009.

Sitio	Cobertura	Diámetro (cm)		Altura total (m)		Número de especies	
		Promedio	Área Basal (m ² /ha)	Promedio	Densidad (individuos/ha)	Manglar	Otras especies
Delta del río Atrato	M. de borde	17,1	26,2	7,8	494	4	5
	Bosque aluvial	20,1	55,3	8,2	850	1	14
	Arracachal	7,6	19,0	3,9	3530	0	1
Puerto César-punta Coquito	M. de borde	9,0	12,5	7,6	850	4	3
	Bosque aluvial	15,1	35,5	7,2	1220	0	7
Pta Yarumal-punta Las Vacas	M. de borde	11,5	13,6	9,2	675	3	0
	M. de cuenca	10,9	9,1	9,8	597	3	4
Ensenada de Rionegro	M. de borde	10,4	11,5	13,0	777	2	2
	M. ribereño	15,3	13,0	9,8	745	3	4
	M. intervenido	19,2	6,0	9,5	157	1	1

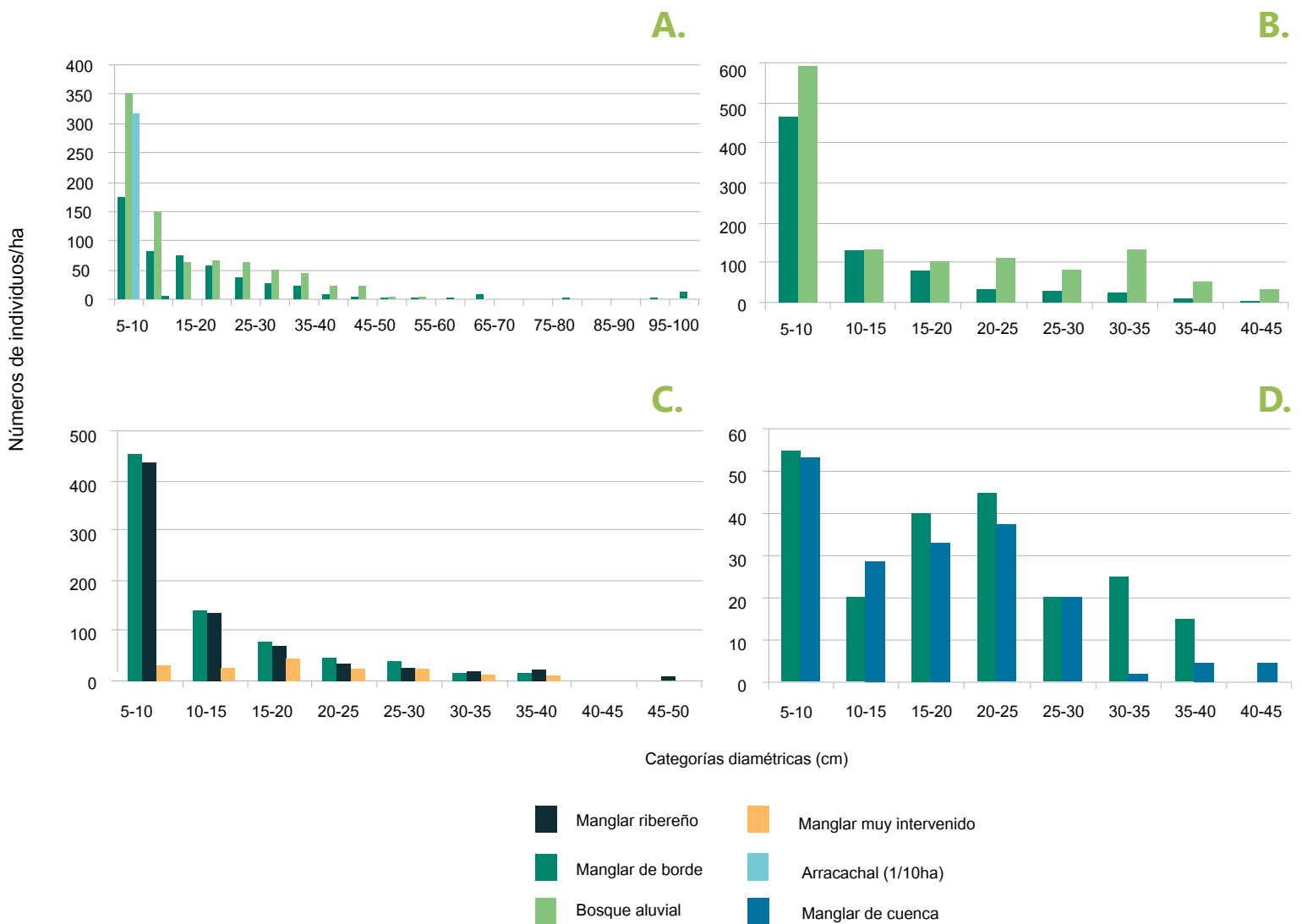


Figura 4.6. Distribución de frecuencias diamétricas por tipo de comunidad en cuatro sitios costeros del golfo de Urabá en 2009-2010. A: Delta del río Atrato; B: Puerto Cesar-punta Coquito; C: Ensenada de Rionegro y D: Punta Yarumal-punta Las Vacas.

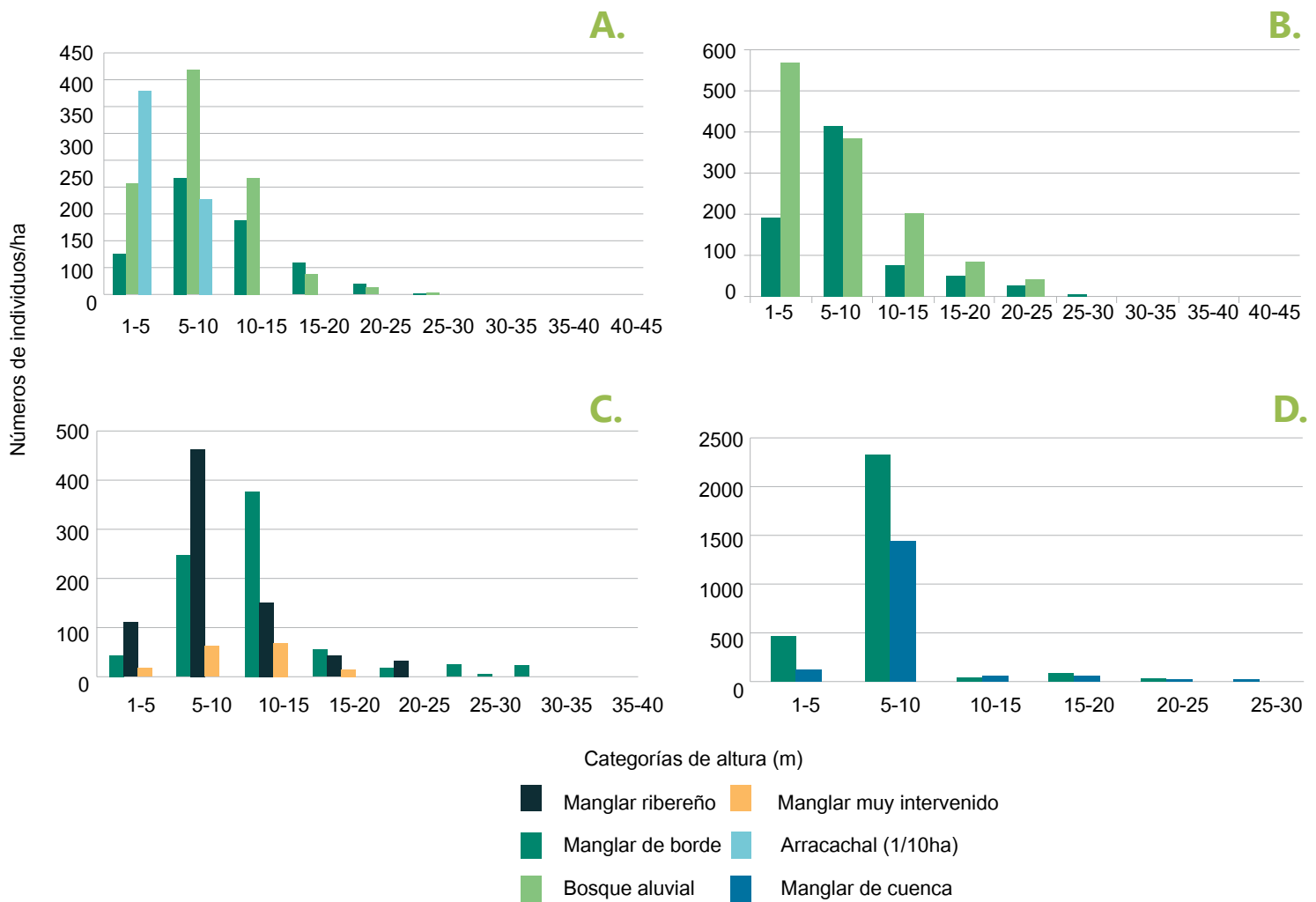


Figura 4.7. Distribuciones de alturas por sitio y cobertura de los manglares del golfo de Urabá en 2009-2010. A: Delta del Atrato; B: Puerto Cesar-punta Coquito; C: Ensenada de Rionegro y D: Punta Yarumal-punta Las Vacas.

Las clases inferiores poseen muchos individuos, generalmente suprimidos o dominados por los de tallas superiores, cuyo dosel denso impide la llegada de luz a los árboles más pequeños. Sin embargo, es indicador del flujo de individuos de las clases inferiores a las superiores, los cuales son sustituidos por los primeros; la capacidad de regeneración garantiza entonces la sobrevivencia de la comunidad forestal (Lamprecht, 1990). Así mismo, con el avance del crecimiento del bosque, algunos árboles expanden sus copas horizontalmente, logran interceptar más luz y, consecuentemente, alcanzan mayores tallas; la competencia entre individuos suprime los de tallas inferiores hasta, eventualmente, su muerte (raleo natural o auto-raleo *sensu* Oliver y Larson, 1990).

En punta Yarumal-punta Las Vacas la distribución de frecuencias diamétricas es acampanada, con sesgo hacia las clases diamétricas menores (figura

4.6D). Son bosques básicamente coetáneos, probablemente por sobreexplotación de tallas medias (varas: 10-15 cm para carbón en esta zona) o muy grandes (pilotes: >25 cm para construcción). No obstante, muchos individuos conforman la primera clase diamétrica, lo que indica un proceso de regeneración activo, aunque de menor magnitud que en los otros tipos de manglar. Esta tendencia es similar para los manglares de cuenca y de borde de esta zona, y sugiere que la extracción es indistinta en todos los tipos. Igualmente, en la ensenada de Rionegro el manglar en estado sucesional temprano distribuye las frecuencias diamétricas en forma de campana, con sesgo hacia la clase de 15-20 cm, que sugiere que el bosque se está recuperando de una perturbación ocurrida hace algunos años, en la que se presentó el derrame de una sustancia química que ocasionó la muerte de una extensión

importante del manglar, y un incendio en el año 2007 (información de los pobladores locales).

Estructura vertical

La distribución de frecuencias de alturas por áreas de muestreo (figura 4.7), igual que las diamétricas, indica la estratificación del bosque, el estado de desarrollo y sus relaciones de competencia por luz. En el delta del río Atrato y Puerto César-punta Coquito tienen forma de "J" invertida (figuras 4.7A,B), similar a las distribuciones diamétricas, con muchos individuos en las clases inferiores y muy pocos en las superiores, lo que indica ausencia de estratos, es decir, un continuo desde las tallas inferiores hasta las superiores.

En la ensenada de Rionegro y punta Yarumal-punta Las Vacas la distribución de alturas es unimodal, con sesgo hacia las clases menores (figuras 4.7C,D). Esta distribución sugiere un único estrato de árboles, cuya altura de copa varía alrededor de una media (Richards, 1952); típico de bosques coetáneos que se desarrollan después de una perturbación. En la ensenada de Rionegro, una perturbación ocurrida hace ya varios años afectó el manglar en general pero, específicamente, mató a los individuos de mayores tallas, y favoreció el desarrollo de regeneración en las áreas abiertas. En punta Yarumal-punta Las Vacas, como se mencionó previamente, se sobreexplotan los individuos de *R. mangle* de todas las tallas para carbón, y solo quedan los pequeños de esta especie (Ministerio de Medio Ambiente, 2002) y los árboles grandes de *A. germinans*.

El bosque aluvial de las orillas del delta del río Atrato hacia el mar, ha desplazado a los manglares, debido a la erosión costera y a la baja salinidad. Los individuos de menores categorías de altura están mejor representados que en los manglares, lo cual podría relacionarse con la alta sedimentación en el ecotono manglar- bosque aluvial que, junto con la erosión costera, podrían reducir los manglares de borde, y exponer los bosques aluviales a la acción directa del mar.

Índice de valor de importancia IVI. La tabla 4.4 presenta los Índices de Valor de Importancia (IVI) de las

especies en cada una de las coberturas vegetales del golfo de Urabá.

Los manglares de borde están dominados en su orden por *R. mangle* (179,0), *L. racemosa* (51,1) y *A. germinans* (37,3) (tabla 4.4). Mientras en el delta del río Atrato y en la ensenada de Rionegro dominan las dos primeras especies, y son comunidades homogéneas bajo condiciones de salinidad reducida, en Puerto César-punta Coquito y punta Yarumal-punta Las Vacas *A. germinans*, que presenta un IVI mayor que *L. racemosa*, probablemente asociado con un mayor nivel de salinidad, y, en este caso particular, con mayor sedimentación de origen aluvial.

En los manglares ribereños según el IVI (tabla 4.4), igualmente dominan estas tres especies, *R. mangle* (223,8), *L. racemosa* (48,3) y *A. germinans* (12,7), aunque *A. germinans* presenta un IVI mucho menor, probablemente relacionado con la baja salinidad registrada en la Ensenada de Rionegro (tabla 4.1), donde se encuentra este tipo de manglar.

En contraste, en el manglar de cuenca la secuencia de valores del IVI (tabla 4.4) para las tres especies se invierte: *A. germinans* (119,6), seguida por *L. racemosa* (80,8) y *R. mangle* (79,6): lo cual se asocia a la mayor salinidad y a la dominancia de sedimentos arenosos aportados por el río Turbo a los manglares del sector, en punta Yarumal-punta Las Vacas. En ambos casos es difícil asociar las dominancias de las especies a una sola variable, debido a la intervención antrópica en este sector, teniendo en cuenta que la mayor extracción se concentra en *R. mangle* y, en menor proporción, en *L. racemosa*, lo cual puede alterar la dominancia de las especies. En punta Yarumal-punta Las Vacas, la extracción de varas de *R. mangle* para carbón influye en que el IVI refleje más la intensidad de la explotación, que la importancia ecológica de cada especie en condiciones naturales. Igualmente, debido a la baja salinidad de los manglares de borde y ribereño, la transición hacia el bosque aluvial no es muy abrupta, y propicia la colonización de varias especies de este último en los manglares, de allí su baja abundancia y dominancia en estos bosques.

Tabla 4.4. Índice de Valor de Importancia, IVI, para las coberturas vegetales del golfo de Urabá en 2009.

Tipo de vegetación	Ar	Dr	Fr	IVI
Manglar de borde				
<i>R. mangle</i>	69,5	67,6	42,2	179,3
<i>L. racemosa</i>	13,9	11,7	25,5	51,1
<i>A. germinans</i>	9,1	15,5	12,8	37,3
<i>P. officinalis</i>	3,4	2,9	5,9	12,2
<i>P. rhizophorae</i>	1,2	0,5	3,9	5,6
<i>M. arborescens</i>	1,3	0,3	2,9	4,5
<i>A. glabra</i>	0,5	0,7	2,9	4,1
<i>P. aquatica</i>	0,2	0,6	2,0	2,8
<i>C. peltata</i>	0,9	0,3	1,0	2,2
<i>M. nobilis</i>	0,1	0,0	1,0	1,1
Total	100	100	100	300
Manglar ribereño				
<i>R. mangle</i>	86,4	85,9	51,5	223,8
<i>L. racemosa</i>	8,6	9,4	30,3	48,3
<i>A. germinans</i>	3,4	3,2	6,1	12,7
<i>P. officinalis</i>	1,3	1,5	6,1	8,9
<i>C. icaco</i>	0,2	0,1	3,0	3,2
<i>M. arborescens</i>	0,2	0,0	3,0	3,2
Total	100	100	100	300
Manglar de cuenca				
<i>A. germinans</i>	14,7	76,6	28,3	119,6
<i>L. racemosa</i>	39,5	13,0	28,3	80,8
<i>R. mangle</i>	43,5	9,8	26,4	79,6
<i>H. tiliacius</i>	2,0	0,5	7,6	10,0
<i>A. chirimole</i>	0,2	0,1	3,8	4,1
<i>T. catapa</i>	0,2	0,0	3,8	4,0
<i>P. officinalis</i>	0,1	0,09	1,9	2,0
Total	100	100	100	300
Bosque aluvial				
<i>R. taedigera</i>	29,5	75,6	15,2	120,3
<i>P. aquatica</i>	13,6	6,2	15,2	35,0
<i>M. arborescens</i>	21,8	1,4	9,1	32,3
<i>P. officinalis</i>	8,4	6,2	4,6	19,1
<i>A. guianensis</i>	5,4	2,6	9,1	17,1
<i>S. globulifera</i>	3,2	0,9	10,6	14,6
<i>P. macroloba</i>	2,6	2,2	7,6	12,3
<i>E. oleracea</i>	6,2	0,8	4,6	11,5
<i>Z. latifolia</i>	4,3	1,1	6,1	11,4
<i>R. mangle</i>	1,5	1,8	3,0	6,3
<i>P. copaifera</i>	1,1	0,1	4,6	5,8
<i>Annona glabra</i>	0,7	0,2	3,0	3,8
<i>M. saccifera</i>	1,1	0,7	1,5	3,3
<i>H. didymantha</i>	0,2	0,2	1,5	1,9
<i>C. peltata</i>	0,2	0,1	1,5	1,8
<i>T. chrysantha</i>	0,2	0,0	1,5	1,7
<i>H. thespesioides</i>	0,2	0,0	1,5	1,7
Total	100	100	100	300
Arracachal				
<i>M. arborescens</i>	100	100	100	300
Total	100	100	100	300
Manglar intervenido				
<i>R. mangle</i>	91,4	99,2	80	270,6
<i>C. peltata</i>	8,6	0,8	20	29,4
Total	100	100	100	300

Tabla 4.5. Porcentaje de individuos con DAP > 10 cm infectados por canchros en cada cobertura y en cada sitio del golfo de Urabá en 2009-2010.

Sitio	Cobertura	Infección (%)
Delta del Atrato	Manglar de borde	32,5
	Bosque aluvial	0,7
Puerto César-Punta Coquito	Manglar de borde	14,3
	Bosque aluvial	-
Ensenada de Rionegro	Manglar de borde	0,8
	Manglar de cuenca	0,3
	Manglar en estado sucesional temprano	-
Punta Yarumal-Punta Las Vacas	Manglar de borde	-
	Manglar de cuenca	-

Al igual que los anteriores manglares, el manglar intervenido y/o en estado sucesional temprano, identificado en la ensenada de Rionegro, está dominado por *R. mangle* (IVI de 270,6; tabla 4.4), aunque con un número de individuos mucho más bajo que en los otros tipos de manglares, tal como se observa en la distribución diamétrica (figura 4.6C). La especie más importante de los bosques aluviales del Golfo es la palma pángana (*R. taedigera* con IVI de 120,0), que da el nombre local al ecosistema (*panganales*), seguida en importancia ecológica por *P. aquatica* y *M. arborescens* (IVI de 35,0 y 32,3, respectivamente); las otras 14 especies exhiben valores de IVI entre 19,0–1,71 (tabla 4.4), que indican un ecosistema relativamente heterogéneo.

El bosque aluvial en el delta del río Atrato (tabla 4.4) es inundado por agua dulce y está dominado por *R. taedigera* (IVI de 130,5), y en segundo lugar por *P. aquatica* (IVI de 36,9), y los IVI de las demás especies están entre 24,1–2,1. Parecen ser frecuentes las asociaciones vegetales monoespecíficas, similar a otras de zonas anegadas del Pacífico colombiano, como los *naidizales* (dominados por la ‘palma naidí’ *Euterpe oleracea*), *sajales* (dominados por el ‘sajo’ *Camposperma panamensis*), y las dominadas por el ‘cuángare’ *Otoba gracilipes* (del Valle, 1996; Urrego y del Valle, 2002). El bosque aluvial de Puerto César-punta Coquito, donde la especie más importante es *P. officinalis* (IVI de 104,6 seguida por *R. taedigera* y *M. arborescens* con IVI de 64,0 y 63,0, respectivamente, tabla 4.4), contrasta con el bosque aluvial del delta del río Atrato.

A lo largo de ríos o quebradas y, especialmente, en los canales abandonados, *M. arborescens* forma conglomerados muy densos, denominados “*arracachales*” (tabla 4.4), que impiden colonizar a otras especies, tal como se presenta en los planos inundables de la Amazonía (Duivenvoorden y Lips, 1991). Estos sitios no tienen un sustrato mineral bien constituido, pero sí un alto nivel de inundación, lo que reduce la competencia de otras especies arbóreas.

Estado fitosanitario de los ecosistemas. Se registraron canchros en troncos de árboles de *R. mangle* con DAP > 5cm. La mayor infección se presentó en los manglares de borde del delta del río Atrato con 32,5% de árboles infectados (tabla 4.5). En el bosque aluvial de esta zona se registró infección de 0,7% en *R. mangle*. En la ensenada de Rionegro la incidencia fue del 1,1%.

Los manglares del golfo de Urabá en el contexto de los del neotrópico

La composición de los manglares del golfo de Urabá es similar a la de los americanos que se caracterizan por la variación en la dominancia de *R. mangle*, *L. racemosa* y *A. germinans* (Sánchez-Páez et al., 1997), y, en menor proporción, por *P. rhizophorae*. Los altos valores de *L. racemosa* se relacionan, probablemente, con la regeneración después de la perturbación (Benfield et al., 2005) y la menor influencia mareal, por incremento de la sedimentación aluvial, ya que esta especie no tolera salinidades muy altas (Medina et al., 1995).

Las características estructurales de los manglares dominados por *A. germinans*, que podrían asimilarse a los de cuenca del golfo de Urabá (que tienen 9,1 m²/ha de área basal y 7,3 m de altura promedio), presentan un área basal menor a la encontrada en los de la Ciénaga Grande de Santa Marta, pero mayor a la de los del Valle de los Cangrejos, delta del río Ranchería (Vásquez, 2000), con 12,1 m²/ha y 5,5 m²/ha, respectivamente. Sin embargo, con respecto a la altura promedio no son muy diferentes a los de Santa Marta, con 7,9 m (Cardona y Botero, 1998), pero sí más altos a los del delta del río Ranchería, con 4,4 m. De la misma forma, comparando con otros manglares dominados por *A. germinans* en el Neotrópico, las características de los del golfo de Urabá son inferiores a las de la Guyana Francesa (Fromard et al., 1998), con área basal y altura promedio de 12,5 ± 4,2 m²/ha y 2,8 ± 0,8m, respectivamente, a los de Roockery Bay, en La Florida, con un área basal de 20,3 m²/ha y una altura promedio de 6,5 m, según Pool et al. (1977), y de 24,9 m²/ha y 10,1 m, respectivamente, según Krauss et al. (2006). Igualmente son muy inferiores a los de Costa Rica (Jiménez y Soto, 1985), que presentaron valores de área basal entre 19,7–37,5 m²/ha y alturas promedio entre 19–22 m. Los del golfo de Urabá podrían asimilarse a los de Belice (Murray et al., 2003), con valores de área basal de 9,5 ± 8,3 m²/ha. Sin embargo en estos últimos se presentan alturas promedio superiores (13–16 m).

Los manglares ribereños del Golfo de Urabá, con área basal 13,5 m²/ha y 9,8 m de altura promedio, son menos desarrollados que los del delta del río Sinú, con 22,2 m²/ha, aunque la altura no presenta diferencias (Olaya et al., 1987). Son comparables con los manglares del delta del río Ranchería (con área basal de 13,3 m²/ha y altura promedio de 6,1 m), aunque estos últimos son de menor altura. Con respecto a otros sitios en Centroamérica y el Caribe, los manglares ribereños del Golfo presentan menor desarrollo estructural; por ejemplo, con respecto a los de la isla de San Andrés, con un área basal entre 19,3–24,6 m²/ha, y una altura promedio entre 14,3–16,3 m (Urrego et al., 2009), a los de la Florida con área basal de 38,5 m²/ha y 7,3 m de altura promedio, y los de México, con áreas basales entre 57,8–60,8 m²/ha y una altura promedio de 16,5 m (Pool et al., 1977),

que son significativamente mejor desarrollados que los registrados en nuestro estudio.

Los manglares de borde del golfo de Urabá presentaron diferencias estructurales importantes entre sitios dentro del Golfo, con área basal mayor en el delta del río Atrato (26,2 m²/ha), comparada con los de punta Yarumal-punta las Vacas, de Puerto César-punta Coquito, y la ensenada de Rionegro, y con áreas basales de 13,6, 12,5 y 11,5 m²/ha, respectivamente. Sin embargo la altura promedio del primero (7,7 m) es similar a la de Puerto César-punta Coquito (7,6 m), pero inferior a la de punta Yarumal-punta Las Vacas, y la ensenada de Rionegro (9,2 y 13,0 m de altura promedio, respectivamente). Mientras los del delta del río Atrato son comparables con los manglares de borde de Costa Rica, con un área basal de 23,2 m²/ha y altura promedio de 10 m (Pool et al., 1977), los otros tres sitios alcanzan valores más bajos que la mayoría de los manglares de borde del Neotrópico. Son también inferiores a los de San Andrés, con área basal entre 13,7–18 m²/ha y alturas entre 8,4–9,6m (Urrego et al., 2009), a los del archipiélago Las Perlas, del Pacífico de Panamá, con un área basal de 16 ± 8,1 m²/ha y una altura promedio de 10,7 ± 0,41 m (McGowan et al., 2010), y a los del sur del golfo de Fonseca en Honduras (con área basal promedio de 19,1 m²/ha y altura promedio menor 10 m) (Castañeda- Moya et al., 2006).

Las diferencias en las características estructurales de los manglares del Golfo, en general más bajas que los de otros sitios en Centroamérica, se pueden relacionar principalmente con la alta sedimentación proveniente de los ríos Turbo y Atrato, que afecta los manglares punta Yarumal-punta Las Vacas, y los del delta del río Atrato (datos no publicados) que afecta no solo la regeneración natural sino también las condiciones de inundación. En la mayoría de los sitios las características estructurales están afectadas por la intervención antrópica. En los manglares de punta Yarumal-punta Las Vacas se presenta extracción constante de madera de *R. mangle* y *L. racemosa* para carbón, y en la ensenada de Rionegro, a pesar de haber sido declarada área protegida ha sufrido al menos dos grandes perturbaciones en los últimos 10 años, lo cual ha afectado su estado de conservación. Contradictoriamente el manglar de delta del río Atrato, que es el que mejores

características estructurales presenta, es donde se registra el peor estado fitosanitario por la presencia de teredos y canchros en los árboles de *R. mangle*.

Los manglares del golfo de Urabá muestran problemas fitosanitarios, identificados por la *Dirección General de Ecosistemas* (Ministerio de Medio Ambiente, 2002) en tres principales: contaminación (i) de aguas por vertimiento de desechos domésticos,

CONCLUSIONES

Los manglares del golfo de Urabá (entre boca Tarena y punta Caribana) se concentran principalmente en cuatro áreas significativas, que albergan tres tipos de manglares, según la clasificación de Lugo y Snedaker (1974), y un manglar intervenido con abundante regeneración; los cuales difieren en la dominancia de las especies y en las características estructurales. En el delta del río Atrato se encuentra la mayor superficie cubierta por manglares y los de mejor desarrollo estructural, comparados con otros del Neotrópico. Sin embargo, es el que presenta la mayor infección con *N. reynei* e incidencia de canchros, que podrían deteriorar la salud de los árboles adultos: pero tanto, las causas como el manejo de este último problema deberán ser abordados en futuras investigaciones.

Los manglares de las otras áreas presentan características estructurales: específicamente altura y área basal, inferiores a otros manglares del Neotrópico, probablemente relacionadas con la intervención antrópica que se registra en la zona, tal como ex-

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Gobernación de Antioquia por la financiación de este proyecto, a la Universidad de Antioquia por el acompañamiento administrativo. Así como agradecemos también a los investigadores de las tres universidades participantes, por compartir generosamente su conocimiento, para lograr un mejor entendimiento de estos ecosistemas. Agrade-

debido a falta de redes de alcantarillado; (ii) con desechos agroindustriales no biodegradables provenientes de las bananeras; y (iii) la acción barrenadora del molusco *N. reynei* sobre individuos adultos de *R. mangle* y *L. racemosa*. Este último tensor ha sido estudiado en mayor detalle por Sánchez-Alfárez et al. (2009), quienes lo identifican como una amenaza grave y riesgosa para la sobrevivencia de los manglares del delta del río Atrato.

tracción de madera para carbón en los manglares de punta Yarumal-punta Las Vacas y en Puerto César-punta Coquito, más cercanos al municipio de Turbo. En la ensenada de Rionegro, aunque es un área protegida, se identifican rodales de manglares en estados sucesionales tempranos: resultado de la regeneración posterior a dos eventos que generaron la muerte de manglares en varias zonas.

Se requiere diseñar planes de aprovechamiento y manejo sostenibles de los manglares; especialmente en los muy deteriorados de punta Yarumal-punta Las Vacas, construidos conjuntamente con las comunidades locales, para que les permitan obtener los bienes y servicios ambientales y económicos, pero garantizando la supervivencia de los bosques. Ahora bien, es importante evaluar el efecto de los agentes causales de las enfermedades y plagas de los ecosistemas de manglar, para encontrar alternativas de manejo y vincularlas a las estrategias de conservación prioritarias para el golfo de Urabá.

mos especialmente a las comunidades locales, de bocas del Atrato, Necoclí y Turbo, que apoyaron el trabajo en campo. Finalmente, queremos agradecer al laboratorio de Geomática de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, por facilitar los espacios y equipos para la fase de interpretación y análisis con sensores remotos.

REFERENCIAS

- Barnard EL, Freeman TE. 1982. *Cylindrocarpon galls on red mangrove*. Plant pathology circular, 235:1–2.
- Benfield S, Guzmán H, Mair J. 2005. *Temporal mangrove dynamics in relation to coastal development in Pacific Panama*. Journal of Environmental Management, 76:263–276.
- Cardona P, Botero L. 1998. *Soil characteristics and vegetation structure in heavily deteriorated mangrove forest in the Caribbean coast of Colombia*. Biotropica 30 (1):24–34.
- Casas-Monroy O, Perdomo-Trujillo L. 2001. *Estado del manglar. Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia*. Invenmar, Santa Marta.
- Castañeda- Moya E, Rivera- Monroy V, Twilley R. 2006. *Mangroves zonation in the dry life zone of the Gulf of Fonseca, Honduras*. Estuaries and Coasts, 29(25):751–764.
- CORPOURABA. 1992. *Acuerdo 099 de Agosto de 1992*.
- CORPOURABA. 2003. *Caracterización y zonificación de los manglares del golfo de Urabá, Departamento de Antioquia*. Proyecto zonificación y ordenamiento de los manglares de Urabá, Antioquia. Convenio 201671 FONADDECORPOURABA. Elite, Apartadó.
- Del Valle JI. 1996. *Los bosques de guandal del delta del río Patía (Colombia)*. Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 78(2):475–489.
- Duivenvoorden J, Lips H. 1991. *Ecología del Paisaje del Medio Caquetá. Estudios en la Amazonia Colombiana*, 3:1–301.
- Duke NC, Meynecke JO, Dittmann S, Ellison AM, Anger K, Berger U, Cannicci S, Diele K, Ewel KC, Field CD, Koedam N, Lee C, Marchand SY, Nordhaus I, Dahdouh-Guebas F. 2007. *A world without mangroves?* Science, 317:41–42.
- Francois Y, García C, Cesaraccio M, Rojas X. 2007. *El paisaje en el golfo*. Pp 75–127. En: García-Valencia, C. (Ed). *Atlas del golfo de Urabá: una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó*. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras –Invenmar– y Gobernación de Antioquia. Serie de Publicaciones Especiales de Invenmar No 12. Santa Marta.
- Fromard F, Puig H, Mougin E, Marty G, Betoulle J, Cadamuro L. 1998. *Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana*. Revista Oecologia.
- Hogarth PJ. 2007. *The Biology of Mangroves and Seagrasses (Biology of Habitats)*. Oxford University Press. Oxford.
- INVEMAR. 2007. *Segundo informe de avance. Formulación de los lineamientos y estrategias de manejo integrado de la Unidad Ambiental Costera del Darién*. Invenmar, Santa Marta.
- INVEMAR-CORPOURABA. 2003. *"Diagnóstico, Zonificación y Definición de la Estructura Administrativa de Manejo de la Unidad Ambiental Costera del Darién, Caribe Colombiano Fase I. Caracterización y Diagnóstico"*. Informe Técnico Preliminar. Santa Marta.
- Jiménez J, Soto R. 1985. *Patrones regionales en la estructura y composición florística de los manglares de la costa Pacífica de Costa Rica*. Revista de Biología Tropical, 33(1):25–37.
- Kathiresan K, Bingham BL. 2001. *Biology of Mangroves and Mangrove Ecosystems*. Advances in Marine Biology, 40:81–251.
- Krauss K, Doyle T, Twilley R, Rivera-Monroy V, Sullivan J. 2006. *Evaluating the relative contributions of hydroperiod and soil fertility on growth of south Florida mangroves*. Hydrobiologia, 569(1):311–324.
- Lamprecht H. 1990. *Silvicultura en los trópicos: Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas -posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido*. (GTZ) GMBH, Eschborn.

- Lema L, Polanía J. 2007. *Estructura y dinámica del manglar del delta del río Ranchería*. Revista de Biología Tropical, 55(1):11–21.
- Linares-Prieto R. 1988. *Estudio preliminar de la asociación catival en Colombia*. Bogotá: CONIF, Serie Documentación No. 17.
- Lugo AE, Snedaker SC. 1974. *The ecology of mangroves*. Annual Review of Ecology and Systematics, 5: 39–64.
- Magrin GO, Gay-García C, Cruz-Choque D, Giménez JC, Moreno AR, Nagy GJ, Nobre C, Villamizar A. 2007. Latin America. Climate Change 2007. En: Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE (Eds.) *Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.
- McGowan T, Cunningham S, Guzmán H, Mair J, Guevara J, Betts T. 2010. *Mangrove forest composition and structure in Las Perlas Archipelago, Pacific Panama*. Revista de Biología Tropical, 58(3):857–869.
- Medina E, Cuevas E, Popp M, Lugo AE. 1990. *Soil salinity, sun exposure, and growth of Acrostichum aureum, the mangrove fern*. Botanical Gazette, 151(1):41–49.
- Medina E, Lugo AE, Novelo A. 1995. *Contenido Mineral de Especies de Manglar de la Laguna de Socotemapán (Veracruz, México) y su relación con la salinidad*. Biotropica, 27(3):317–323.
- Ministerio de Medio Ambiente. 2002. *Uso sostenible, manejo y conservación de los ecosistemas de manglar en Colombia*. Bogotá.
- Murray M, Zisman S, Furley P, Munro D, Gibson, J, Ratter, J, Bridgewater, S, Minty, C y Place, C. 2003. *The mangroves of Belize. Part 1. Distribution, composition and classification*. Forest Ecology and Management 174:265–279.
- OIMT, *Organización Internacional de las Maderas Tropicales*. 2002. Plan de trabajo de la OIMT sobre manglares 2002–2006. Serie OIMT de políticas forestales. No. 12. Yokohama.
- Olaya H, Centenaro D, Leguizamo I, Pineda F. 1987. *Los bosques del mangle del antiguo delta del río Sinú (Córdoba- Colombia)*. Estudio de la vegetación y aprovechamiento. CVS, División de recursos naturales, Montería.
- Oliver CD, Larson BC. 1990. *Forest stand dynamics*. McGraw-Hill, Inc.
- Pool D, Snedaker S, Lugo A. 1977. *Structure of Mangrove Forests in Florida, Puerto Rico, Mexico, and Costa Rica*. Biotropica, 9(3):195–212.
- Robertson AI, Duke NC. 1987. *Mangroves as nursery sites: comparisons of the abundance and species composition of fish and crustaceans in mangroves and other nearshore habitats in tropical Australia*. Marine Biology, 96(2):193–205.
- Rollet B. 1980. *Organización*. En: UNESCO, UNEP & FAO (Eds.). *Ecosistemas de los bosques tropicales: Informe sobre el estado de conocimientos*. Serie de Investigaciones sobre los Recursos Naturales XVI, Madrid.
- Sánchez-Alfárez AS, Álvarez-León R, Godoy-Bueno S, López C, Pinzón-Florián OP. 2009. *Aspectos fitosanitarios de los manglares del Urabá Antioqueño, Caribe colombiano*. Pan-American Journal of Aquatic Sciences, 4(3):339–346.
- Sánchez-Páez H, Álvarez R, Pinto NF, Sánchez A, Pino RJ, García HI, Acosta PM. 1997. *Diagnóstico y zonificación preliminar de los manglares del Caribe de Colombia*. Ministerio de Medio Ambiente, Santa Fe de Bogotá D.C.
- Sobrado MA. 2006. *Differential leaf gas exchange responses to salinity and drought in the mangrove tree Avicennia germinans (Avicenniaceae)*. Revista de Biología Tropical 54 (2):371–375.

- Tomlinson PB. 1986. *The botany of mangroves*. Cambridge University Press. New York.
- Twilley R. 2003. *Mangrove ecosystem*. En: Mooney H, Canadell J, (eds.) *Encyclopedia of global Environmental change, Volume 2, The Earth system: Biological and Ecological dimensions of global environmental change*.
- Urrego LE, del Valle JI. 2002. *Reconstrucción de la sucesión en un bosque de "guandal" (Pacífico colombiano) durante el holoceno reciente*. *Caldasia*, 24(2):425–443.
- Urrego L, Polania J, Buitrago M, Cuartas L, Lema A. 2009. *Distribution of mangroves along environmental gradients on San Andres Island (Colombian Caribbean)*. *Bulletin of Marine Science*, 85(1):27–43.
- Vásquez J. 2000. *Estructura de los bosques de mangle del Valle de los Cangrejos y el Riño, delta del Río Ranchería, Caribe Colombiano*. Trabajo de grado Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- von Prah H. 1999. *Manglares de Colombia*. Banco de Occidente. Bogotá.





CAPÍTULO

Foraminíferos bentónicos
en los sedimentos de los
manglares del golfo de Urabá

5



Foraminíferos bentónicos en los sedimentos de los manglares del golfo de Urabá

Gladys Bernal^{1,2} y Eliana Gómez^{1,3}

¹Grupo de Investigación Oceanicos (Oceanografía e Ingeniería Costera),
Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Facultad de Minas,
Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, Antioquia, Colombia.
Carrera 80 #65-223.

²gbernal@unal.edu.co; ³egomezoc@unal.edu.co.

Resumen: Los foraminíferos bentónicos son microorganismos (protozoarios) marinos que poseen concha y habitan en los sedimentos. En estuarios y manglares, donde hay mezcla de agua dulce y salada, se presenta menor número de especies y menor abundancia de foraminíferos bentónicos que en aguas marinas abiertas, ya que en general éstos son ambientes restringidos para ellos. Sin embargo, en muchos estuarios y manglares del mundo se están estudiando las especies de foraminíferos, y se ha encontrado que pueden ser buenos indicadores de variables ambientales; aunque queda mucho por entender sobre los factores que controlan la ocurrencia de las especies en estos ambientes. En el golfo de Urabá se presentan manglares de diferentes tipos, pero no se han estudiado las especies de foraminíferos que los habitan. El objetivo de este estudio fue determinar la biodiversidad de foraminíferos bentónicos en los ecosistemas de manglar del golfo de Urabá, en relación con su ambiente. Los resultados mostraron cuatro especies aglutinadas, y una calcárea, dominantes en estos manglares: *Milliammina fusca*, *Haplophragmoides canariensis*, *Trochammina squamata*, *Arenoparrella mexicana* y *Ammonia beccarii*, siendo las aglutinadas las que dominan en el área. Además, se observó la ausencia de foraminíferos en zonas de manglar impactadas por oleaje fuerte, en la ensenada de Rionegro y en algunas localidades de manglares de borde. *Milliammina fusca*, la especie más abundante, se relacionó con el porcentaje de lodos en los sedimentos, a su vez relacionada con *H. canariensis* y *A. beccarii*. Se encontró la relación entre la ocurrencia de *A. mexicana* y *T. squamata*, con el porcentaje de materia orgánica presente en los sedimentos.

Abstract: Benthic foraminifera are marine shelled-microorganisms (protozoa) that inhabit sediments. In estuaries and mangroves, where fresh and marine waters are mixed, there is a variable diversity and less abundance of foraminifera than in open marine waters, due to these environments are marginal for them. However, the Foraminifera species, in many estuaries and mangroves, are being studied; even though there is much to understand about the environmental factors controlling their occurrence. In the Gulf of Uraba (Colombian Caribbean) there are different types of mangroves, but we do not know the foraminifera inhabiting them. The aim of this study was to determine the biodiversity of benthic foraminifera at the mangrove ecosystems of the Gulf of Uraba, related to the environment. We found four agglutinated and one calcareous species dominating in these mangroves: *Milliammina fusca*, *Haplophragmoides canariensis*, *Trochammina squamata*, *Arenoparrella mexicana* and *Ammonia beccarii*, with dominance of agglutinated species. Also, we did not find foraminifera in mangrove zones exposed to strong waves, in Rionegro cove, and in some fringing mangrove localities. Mud percentage in sediments correlated with the most abundant species, *M. fusca*, associated, in turn, with *H. canariensis* and *A. beccarii*. Organic matter was related with *A. mexicana* and *T. squamata* occurrence.

INTRODUCCIÓN

Los foraminíferos bentónicos son microorganismos marinos con caparazón que viven en los sedimentos. Son conocidos por su gran registro fósil, su variedad y su abundancia en ambientes marinos. Constituyen el grupo más diverso de organismos con concha en los océanos. La variedad de sus formas los hace un interesante objeto de estudio; y la ocurrencia de las distintas especies se relaciona directamente con las características ambientales que los rodean. Según la clasificación de Loeblich y Tappan (1987), se encuentran clasificados en el reino Protista, phylum granoreticulosa y clase foraminífera (Sen-Gupta, 1999). Poseen pseudópodos (prolongaciones fibrosas del citoplasma) que facilitan el desplazamiento, la alimentación y la construcción de la concha.

Hay dos tipos principales de caparazones de foraminíferos bentónicos: *aglutinados* (partículas de sedimento cementadas) o *calcáreos* (compuestas de carbonato de calcio). Las conchas calcáreas pueden ser hialinas (transparentes y perforadas) o porcelanáneas (opacas e imperforadas). La clasificación de los foraminíferos se basa en el tipo de concha, el número y disposición de cámaras, las aperturas, y, en algunos casos, en ornamentaciones secundarias.

A cada ambiente marino corresponde una comunidad de foraminíferos característica, con una asociación de especies que se mantendrá, más o menos constante, en los sitios donde prevalezcan factores ecológicos similares (Parada, 1990). Por esto los foraminíferos son muy utilizados en paleoceanografía para la reconstrucción de ambientes marinos pasados, y actualmente han adquirido valor como bioindicadores de condiciones ambientales en el presente. Por ejemplo, se ha demostrado que los foraminíferos bentónicos se ven afectados por contaminación antropogénica, como el enriquecimiento orgánico, el incremento de metales pesados e

hidrocarburos del petróleo en los sedimentos. Su respuesta incluye cambios en la abundancia, en la composición de las especies y en la forma de sus conchas. Por tanto, es importante conocer cuáles son las especies que ocurren en los ecosistemas y su relación con las condiciones ambientales, para poder utilizarlas como una herramienta eficiente, y de bajo costo, al momento de evaluar procesos de deterioro ambiental futuros.

Los ambientes estuarinos (donde hay mezcla de agua dulce y agua salada) son poco propicios para muchas especies de foraminíferos, especialmente las calcáreas, debido a que el agua dulce tiene un pH más ácido que el agua de mar. En estos ambientes los foraminíferos aglutinados tienden a ser más abundantes, y la relación entre los calcáreos y los aglutinados puede ser indicadora del dominio de condiciones marinas o fluviales. En manglares, los foraminíferos han sido poco estudiados, especialmente en Colombia, y no sabemos hasta qué punto pueden ser usados como bioindicadores ambientales. Particularmente en el golfo de Urabá no se ha publicado ningún estudio sobre estos microorganismos. El golfo de Urabá es un gran estuario tropical con diversos ecosistemas de manglar en sus costas, y, por tanto, es un lugar propicio para estudiar la ocurrencia de foraminíferos bentónicos en estos ambientes. El objetivo de este trabajo es determinar la biodiversidad de foraminíferos bentónicos en los ecosistemas de manglar del golfo de Urabá, en relación con los sedimentos, las propiedades del agua y las características morfológicas de los manglares. Este trabajo fue realizado en el marco del proyecto *Expedición Estuarina- golfo de Urabá, Fase 1*, con fondos de la Gobernación de Antioquia y la participación de investigadores de las universidades Nacional de Colombia, de Antioquia y EAFIT.

ANTECEDENTES

En el mar Caribe existen pocos estudios publicados sobre foraminíferos bentónicos en ambientes estuarinos. En sistemas de manglar-laguna en Puerto Rico, Culver (1990) observó patrones

de distribución de foraminíferos que podrían ser usados después en interpretaciones paleo y medioambientales. Variaciones en el tipo de sedimento, abundancia y distribución de vegetación

marina, grado de exposición al oleaje y a corrientes, mostraron ser los factores más importantes en la distribución de los foraminíferos. En Colombia, en el sistema lagunar de Cispatá, Bernal et al. (2008) encontraron que la salinidad y el contenido de materia orgánica en los sedimentos, dominan la distribución de los foraminíferos bentónicos. Parada-Ruffinatti y Pinto (1996) realizaron estudios de foraminíferos en las lagunas costeras de Barú, agrupando especies indicadoras de subambientes, de acuerdo con el tamaño de grano de los sedimentos, el contenido de materia orgánica, la energía marina y la vegetación. En este mismo trabajo Parada-Ruffinatti y Pinto (1996) describieron las especies de foraminíferos encontradas en núcleos de sedimentos, tomados desde el golfo de Urabá hasta la desembocadura del río Magdalena; sin embargo no presentan los resultados del único núcleo tomado dentro del Golfo. En el golfo de Urabá es la primera vez que se realiza la identificación de foraminíferos bentónicos en manglares.

Los foraminíferos bentónicos podrían llegar a ser una herramienta importante de gestión ambiental ya que son buenos bioindicadores de condiciones ambientales. A nivel mundial la pérdida de manglares ha sido significativa en décadas recientes, aunque en algunas regiones del mundo se encuentran todavía extensos bosques. Ellos sufren impactos directos como tala y contaminación, efectos indirectos como cambios en el manejo del agua dulce, y a menudo se consideran como entornos desagradables con poco valor intrínseco (Nagelkerken et al., 2008). Otras intervenciones comunes son la adecuación de zonas de manglar para *camaronicultura* y el relleno de terrenos para urbanización. En el mundo, estudios de foraminíferos en manglares propiamente se encuentran en Brasil (Semensatto et al., 2009) y la Guyana Francesa (Debenay et al., 2002). Es más común encontrar investigaciones en estuarios (Chatelet et al., 2008; Diz y Francés, 2008; Nooijer et al., 2008), deltas (Debenay et al., 2006), prodeltas (Mojtahid et al., 2009) y lagos (Venicek et al., 2000). La fauna de foraminíferos de los manglares es muy pobre cualitativamente (especies encontradas), y muy variable desde el punto de vista de la cantidad de ejemplares encontrados (abundancia de individuos por

especie). No existen especies planctónicas. Las bentónicas son casi exclusivamente aglutinadas. Esto se explica por el muy pobre contenido de calcio en las aguas, así como por la muy probable disolución *post mortem* de los caparzones, debido al pH bajo (Boltovskoy, 1965).

Los manglares ocupan el 70% de las costas en el mundo, y muchas especies de foraminíferos conocidos de marismas salados, se encuentran en estos pantanos. En particular dos especies: *Ammotium salsum* y *Arrenoparella mexicana*, dominan manglares en diversas áreas, por ejemplo en Trinidad, Florida, Brasil, Ecuador y Colombia. Puede haber una notable similitud entre foraminíferos de manglar en áreas geográficas muy diferentes. Por ejemplo, especies de *Ammotium*, *Arenoparrella*, *Haplophragmoides*, *Milliammina* y *Trochammina*, son comunes en manglares de Sumatra y de Trinidad. Se ha observado que las zonaciones de foraminíferos en manglares están controladas por factores como la salinidad, temperatura, contenido de sustrato orgánico y exposición a la atmósfera (Sen-Gupta, 1999).

En una investigación realizada en la Guyana Francesa, Debenay et al. (2002) encontraron en ese ecosistema de manglar que, para condiciones homogéneas de tamaño de grano, los principales parámetros que actúan sobre la distribución de foraminíferos bentónicos están relacionados con las variables asociadas a masas de aguas (continentales o marinas); tales como: pH, salinidad y contenido de calcio. En segundo lugar encontraron la elevación vertical, es decir, la posición o altura respecto al nivel medio de marea, la cual deja como resultado un decrecimiento progresivo en la densidad de las asociaciones hasta desaparecer completamente, debido a la exposición aérea del terreno según sea el ciclo mareal. Chatelet et al. (2008) observaron que el tamaño de grano es el parámetro más limitante; mientras más grueso el grano menor densidad y mayor diversidad y viceversa; y el segundo parámetro es la cantidad y calidad de la materia orgánica. En efecto, Mojtahid et al. (2009) encontraron que la cantidad y calidad de la materia orgánica es el factor más incidente en la abundancia, diversidad y composición de las asociaciones de foraminíferos

bentónicos en un prodelta. La concentración de oxígeno disuelto también ha sido considerada un factor limitante: pues mientras más anóxico sea el ambiente menor será la diversidad y abundancia de especies de foraminíferos (Vanicek et al., 2000; Diz y Francés, 2008).

Los sedimentos en los manglares están compuestos principalmente por fracciones finas (arcilla y limo), altas cantidades de materia orgánica y sales solubles, con valores de pH variando entre 5.0–7.9 (Progene et al., 2010). Diferencias entre la composición de la fauna en manglares de diferentes edades, ha sido coincidente con diferencias en la naturaleza del sedimento entre áreas de manglares adultos y jóvenes. Los resultados de Morrisey et al. (2003) indicaron que en áreas de manglar adulto el sedimento es inundado con menor frecuencia, volviéndose más compacto, y, por tanto, la abundancia y diversidad de la fauna decrece. Este cambio se correlaciona con un incremento en la complejidad estructural del manglar maduro, y, tal vez, un decrecimiento en la calidad del hábitat para los foraminíferos (como el sedimento se

vuelve más compacto, el agua intersticial es menos oxigenada y más salina).

Los efectos del tamaño de grano sobre la densidad y diversidad de foraminíferos son todavía tema de debate. Basándose en observaciones de densidad y diversidad de fauna, (Diz et al., 2004 en Chatelet et al., 2008) sugieren que sustratos muy gruesos (arenas) proveen unas condiciones de vida muy favorables en estuarios; mientras que en otros estudios revelan que una alta proporción de partículas finas (limos y arcillas) favorecen los foraminíferos bentónicos (Debenay et al., 2001 en Châtelet et al., 2008), y tamaños de grano gruesos muestran baja densidad y alta diversidad y viceversa (Châtelet et al., 2008). También se ha observado que las fracciones pequeñas de los sedimentos de manglares (63 μm y 150 μm) pueden contener un gran número de foraminíferos, y especies que se encuentran ausentes o escasas en fracciones grandes. Esto es común en ambientes ricos en partículas orgánicas donde las especies dominantes pueden estar en la fracción pequeña (Shepherd et al., 2006).

MÉTODOS

Trabajo de campo

Desde una embarcación se recolectaron 142 muestras de sedimentos superficiales utilizando una caja Ekman. En 8 estaciones se tomaron 2 réplicas para comprobar su representatividad. De cada caja se tomaron dos muestras con un volumen conocido del primer centímetro superficial, siguiendo la recomendación de Gooday et al. (2000), una para los análisis de foraminíferos y la otra para los de sedimentos. La posición de las muestras se referenció con un GPS Garmin Mac 76S®. En cada sitio de muestreo se realizó la medición de condiciones ambientales como profundidad, temperatura y salinidad. La profundidad se midió con una cuerda metrada. Los demás parámetros fueron tomados superficialmente en aguas con profundidades de menos de 1 m; a 0,20 m y el fondo (hasta 3 m) en aguas con profundidad entre 1–5 m; y en aguas con profundidades mayores de 5 m se midió el fondo,

media agua (3,0 m) y superficial (20 cm). Las muestras de agua a diferentes profundidades fueron tomadas con una botella muestreadora de agua, y los parámetros físico químicos (temperatura y salinidad) fueron medidos con una sonda multiparamétrica (YSI Model 85) (figura 5.1).

Debido al largo tiempo que requiere el procesamiento de las muestras en el laboratorio, se escogieron 56 muestras representativas para el presente análisis. Las muestras restantes serán procesadas posteriormente. A continuación se hace una breve descripción el procedimiento realizado en el laboratorio.

Análisis de foraminíferos

Para la preservación de las muestras, a cada una se le adicionaron 20 gotas de etanol al 95% (Boltovskoy,

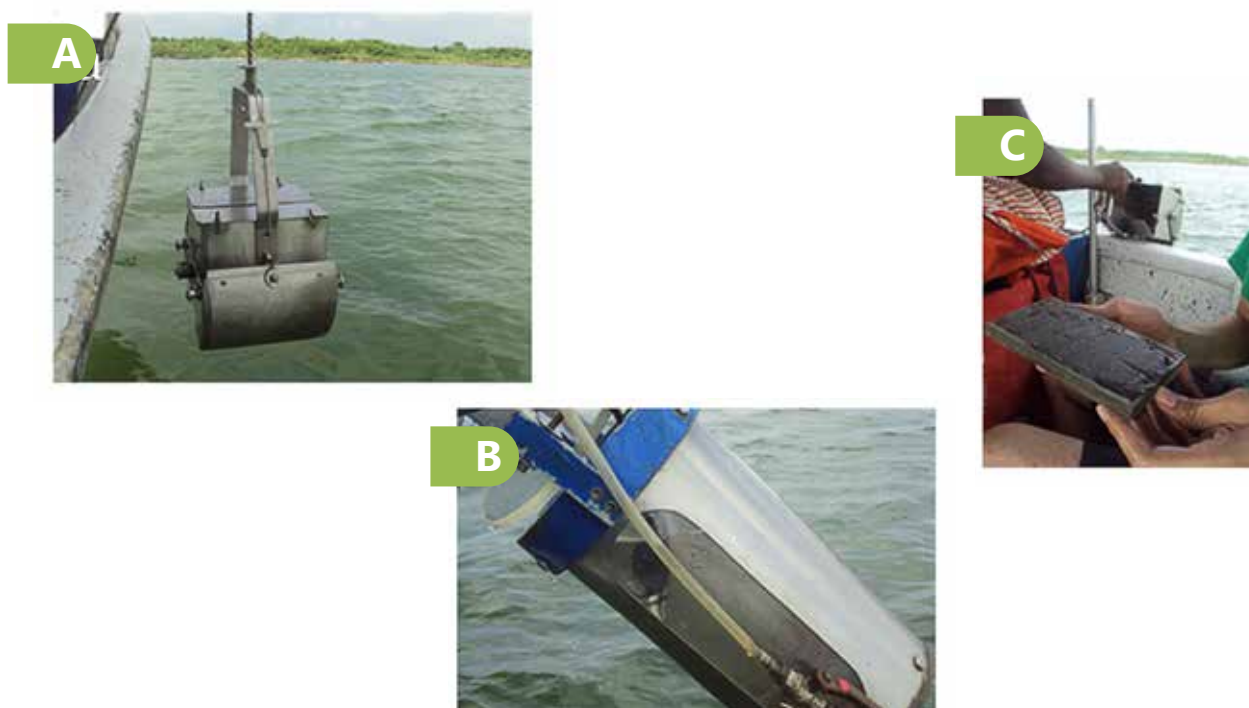


Figura 5.1. a) Caja Ekman. b) Toma del primer cm superficial. c) Botella muestreadora de agua.

1965), y después de media hora se le agregó un volumen igual a la muestra de alcohol al 70%, y fueron almacenadas en una nevera con hielo. En el laboratorio, aproximadamente 100 cm³ de sedimento fueron lavados a través de tamices de 355 μ m, 150 μ m y 63 μ m, para separar en diferentes tamaños el sedimento, y así facilitar el trabajo de observación bajo el estereomicroscopio. Las fracciones fueron teñidas con Rosa de Bengala (Murray, 2006), para diferenciar los organismos vivos (los que resulten teñidos) de los muertos en el momento de la captura.

Después de secar el sedimento al aire libre, se separaron los foraminíferos en un estereomicroscopio con un pincel humedecido, y se pusieron en un portaforaminíferos. Se trataron de separar 300 foraminíferos por cada muestra, pero los conteos estuvieron entre 1–300 individuos por muestra, dependiendo de su abundancia. La identificación de las especies se hizo mediante la comparación con las guías de identificación de Barker (1960), Buzas et al. (1977), McCulloch (1977), Buzas y Severin (1982), Boltovskoy e Hincapié-Martínez (1983), Parada y Pinto (1986), Parada (1991), Parada-Ruffinatti y Pinto (1996), Debenay et al. (2002), Debenay y Luan (2006) y Bernal et al. (2008). Se consideró la clasificación supragenérica de Sen-Gupta (1999). Finalmente se realizaron los conteos

por especies para determinar sus abundancias en cada lugar y en total en todo el Golfo.

Análisis de sedimentos y de datos

La fracción recolectada para el análisis de sedimentos fue secada en horno a 60°C durante 24 horas. Se separaron 3 g que fueron macerados para análisis de materia orgánica y carbonatos. La materia orgánica fue medida por calcinación, y los carbonatos por medio de un calcímetro tipo Bernard. Se separaron submuestras para granulometría de arenas y lodos; en caso de muestras muy pequeñas sólo se hizo granulometría de arenas, y se estimó el porcentaje total de lodos.

Análisis de datos

La información recolectada se representó en mapas. Además se hicieron tablas comparativas y matrices de correlación. Los mapas y tablas fueron analizados a la luz del conocimiento sobre foraminíferos, manglares y el golfo de Urabá.

En la figura 5.2 se muestra un esquema resumen de la metodología empleada.

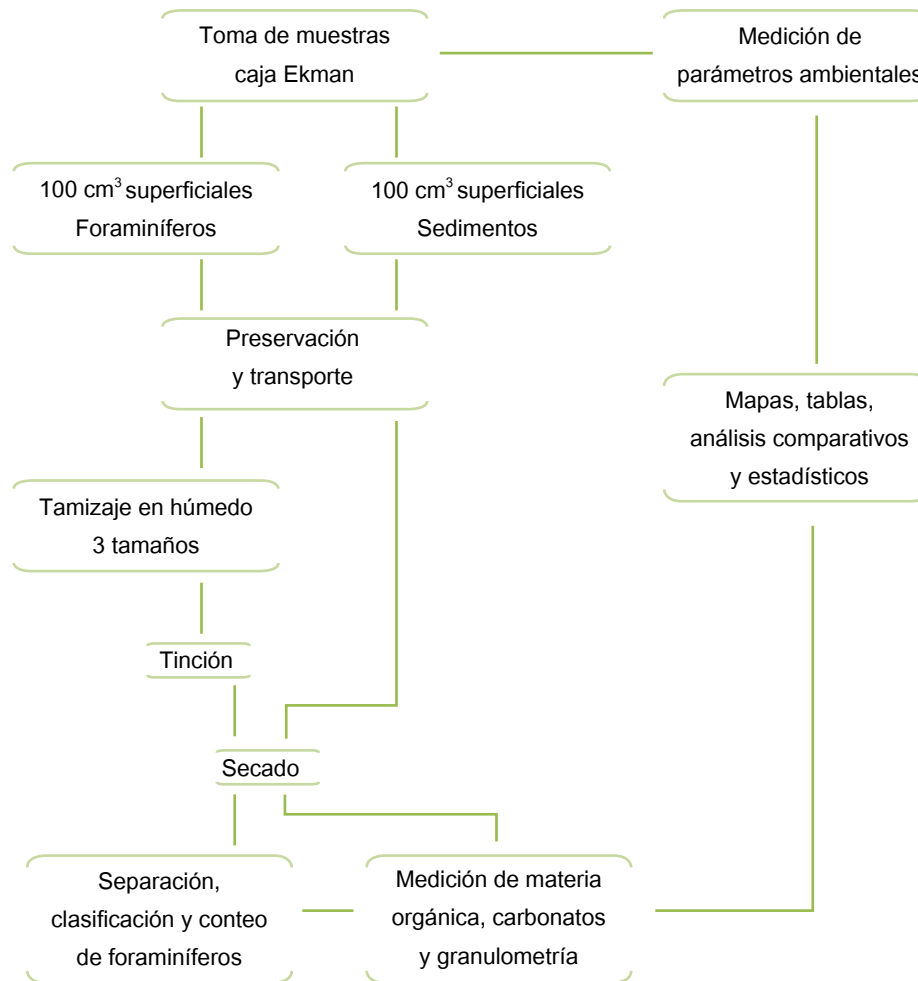


Figura 5.2. Esquema mostrando la metodología utilizada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 5.3 se presenta la abundancia total de foraminíferos en los sitios de muestreo analizados (los puntos representan las posiciones de las muestras analizadas, y su color y tamaño el número de individuos). Las mayores abundancias de foraminíferos bentónicos en el sedimento se encontraron en el delta del río Atrato, bahía Turbo, bahía El Uno y la boca del río Damaquiel, esta última ubicada directamente hacia el mar Caribe. En el delta del río Atrato, las abundancias en las riberas de bahía El Rotico son bajas (<10 individuos/cm³), mientras que en los caños (caño de boca Tarena, caño El Rotico) y en todo el sector al sur de bahía Candelaria (bahía de Cocogrande, bahía la Paila, bahía Burrera y sector norte de bahía Marirrí con los caños intermedios que las conforman), las abundancias son altas (>10 individuos/cm³). La mayor abundancia se encontró en el sustrato del manglar ribereño de bahía La Paila (70 individuos/cm³).

No se encontraron foraminíferos en algunas muestras de los manglares del delta del río Atrato, los manglares ribereños del sector sur y este de bahía Colombia (río Suriquí, río León, punta Coquito, puerto Cesar y río Guadualito), los manglares ribereños del Bobal (El Carlos y La Cartagenita), la ensenada de Rionegro en la esquina nororiental, y el caño Marimonda y boca del río Hobo hacia el mar Caribe.

En las muestras se identificaron 30 especies de foraminíferos de 21 géneros (figura 5.4). Las cinco especies que presentaron las mayores abundancias medias en las muestras fueron (en orden desde la más abundantes con sus porcentajes respecto al total de individuos): *Milliammina fusca* (37%), *Haplophragmoides canariensis* (31%), *Trochammina squammata* (6%), *Arenoparrella mexicana* (4%), y *Ammonia beccarii* (3%).

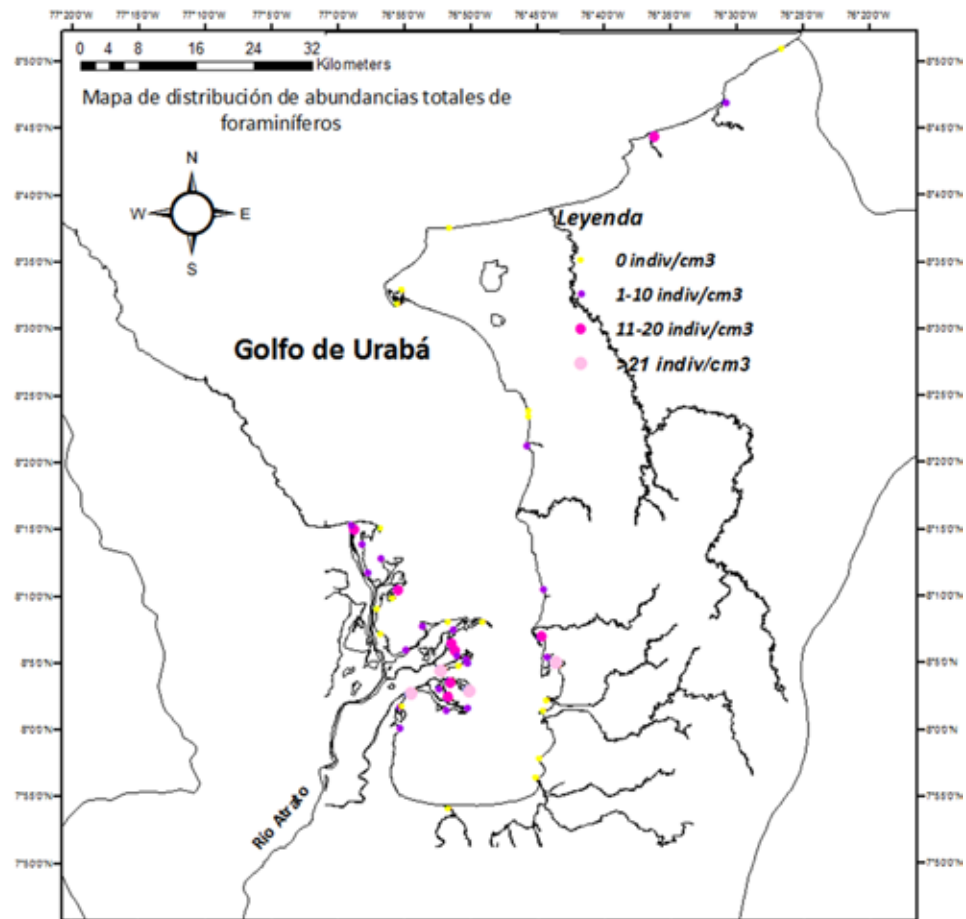


Figura 5.3. Sitios de muestreo y abundancia total de foraminíferos bentónicos (número de individuos/cm³) en los sedimentos de los ecosistemas de manglar en el golfo de Urabá.

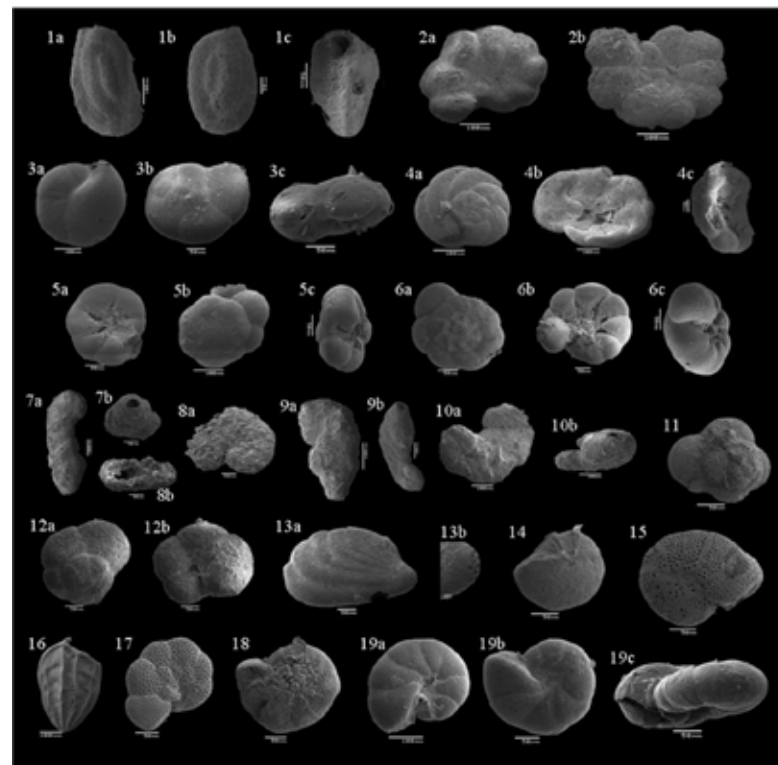


Figura 5.4. Fotografías de foraminíferos bentónicos tomadas desde un microscopio de barrido electrónico. 1. *Millammina fusca* (Debenay y Luan). 2. *Haplophragmoides canariensis* (Barker). 3. *Arenoparrella mexicana* (Kornfeld). 4. *Trochammina squamata* (Barker). 5. *Ammonia beccarii* (Linné). 6. *Ammonia differens* (McCulloch). 7. *Ammobaculites exilis* (Cushman y Brönnimann). 8. *Ammobaculites americanus* (Cushman). 9. *Ammotium salsum* (Cushman y Brönnimann). 10. *Ammobaculites exiguus* (Cushman y Brönnimann). 11. *Rosalina* cf. *globulariformis* (McCulloch). 12. *Trochammina inflata* (Montagu). 13. *Amoastuta inepta* (Cushman y McCulloch). 14. *Cellanthus gunteri* (Cole). 15. *Anomalinoidea kurtzi* (McCulloch). 16. *Bolivina* cf. *arenosa* (Chapman). 17. *Discorbis granulosa* (Heron-Allen y Earland). 18. *Elphidium mexicanum* (Kornfeld). 19. *Haplophragmoides wilbertii* (Andersen).

Las cuatro especies más abundantes son las aglutinadas. Su distribución espacial en los manglares del Golfo puede verse en la figura 5.5. La ocurrencia de *M. fusca* coincidió con los sitios de mayor abundancia total de foraminíferos bentónicos (delta del río Atrato, bahía El Uno, bahía de Turbo y boca del río Damaquiel). *Haplophragmoides canariensis* en cambio se presentó en sólo dos localidades del delta del río Atrato, y en las bocas de los ríos Damaquiel y San Juan en el Caribe. *Trochammina squammata* sólo se encontró en el delta del río Atrato al sur de la bahía Candelaria. *Arenoparrella mexicana* fue

abundante casi en las mismas localidades que *M. fusca*, pero estuvo ausente de las bahías Turbo y El Uno. *Milliammina fusca*, la especie más abundante en los manglares del Golfo, se ha encontrado relacionada con muy bajas salinidades (Debenay et al., 2002), con sedimentos con contenido de lodos menores que 66% (Murray, 2006), y con estrés ambiental (Semensatto et al., 2009). Horton et al. (2003) en un ecosistema de manglar australiano (zona intermareal de Cocoa Creek), observó la dominancia de *M. fusca*, *A. mexicana* y *H. canariensis*, las mismas especies encontradas en el golfo de Urabá. *T. squammata*, la tercera especie

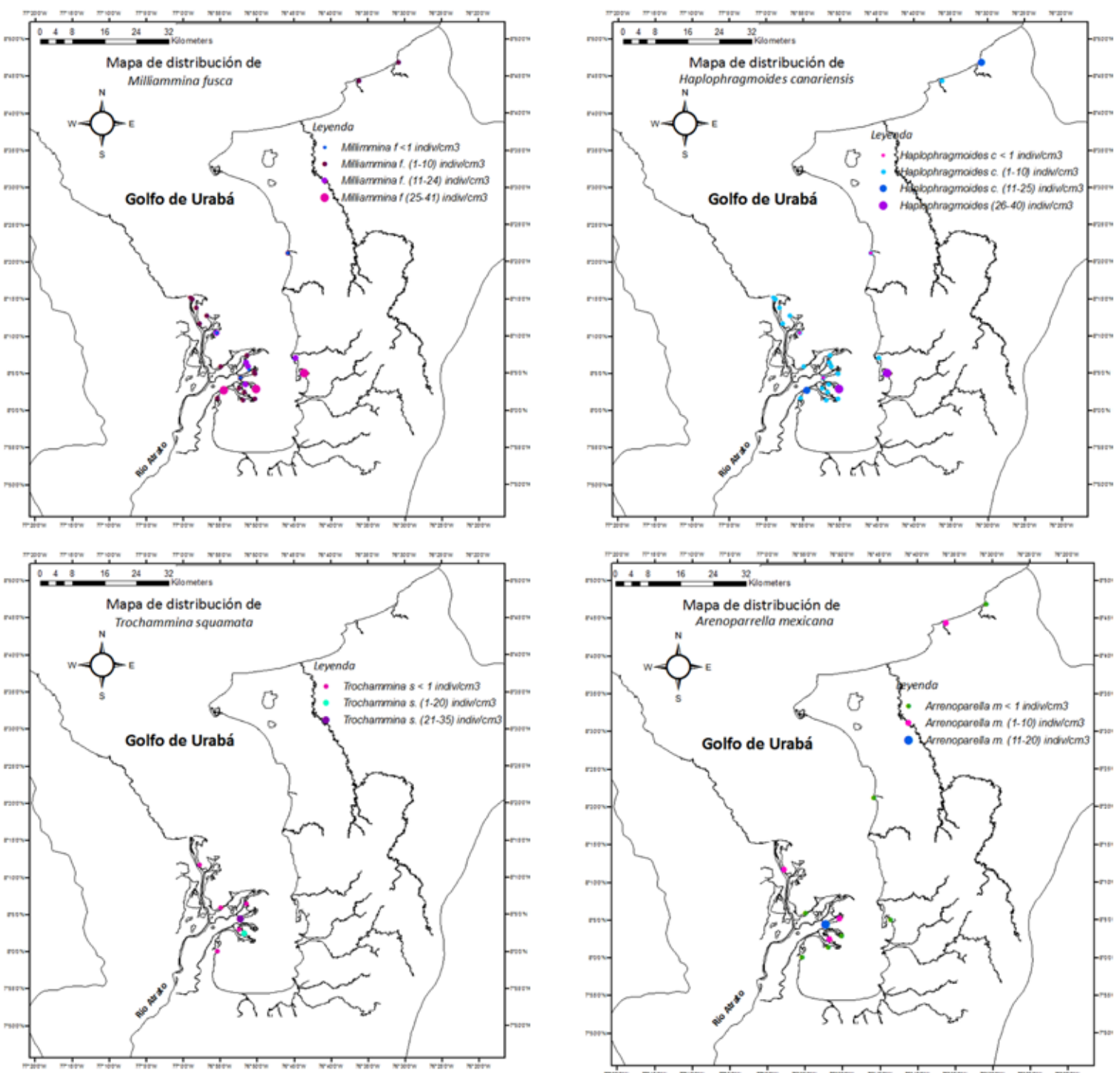


Figura 5.5. Distribución espacial de las 4 especies de foraminíferos aglutinados más abundantes en los manglares del golfo de Urabá.

más abundante en los manglares del golfo de Urabá se ha caracterizado por encontrarse en sustratos finos (Murray, 2006).

En quinto lugar de abundancia hay una especie calcárea, *Ammonia beccarii* (figura 5.6). Esta especie se presentó en dos localidades del delta del río Atrato y en las bahías de Turbo y El Uno. Su mayor abundancia se registró en la bahía El Uno. Esta especie se ha caracterizado por ser colonizadora de ambientes contaminados, con bajas concentraciones de oxígeno disuelto y abundante materia orgánica (Murray, 2006).

La riqueza de especies puede ser representada por el número de especies encontradas en cada sitio de muestreo, y la relación entre foraminíferos

aglutinados y calcáreos puede verse en el mapa de porcentaje de aglutinados (figura 5.7). La mayor parte de los sedimentos con foraminíferos presentaron entre 6–10 especies. La muestra con mayor riqueza fue la del río Damaquiel en el Caribe (con 22 especies). Otras zonas con alta riqueza fueron la boca del río Caimán Viejo (13 especies), y una muestra en la bahía de la Candelaria en el delta del río Atrato (11 especies). La proporción de aglutinados es mayor del 95% en casi todas las muestras, excepto en Damaquiel, río Caimán Viejo, bahía de Turbo y boca Tarena. En las muestras donde hay foraminíferos, más del 80% del total son aglutinados, excepto en una de las muestras de la bahía El Uno, donde todos los foraminíferos encontrados fueron calcáreos (esta muestra tuvo una abundancia baja de foraminíferos).

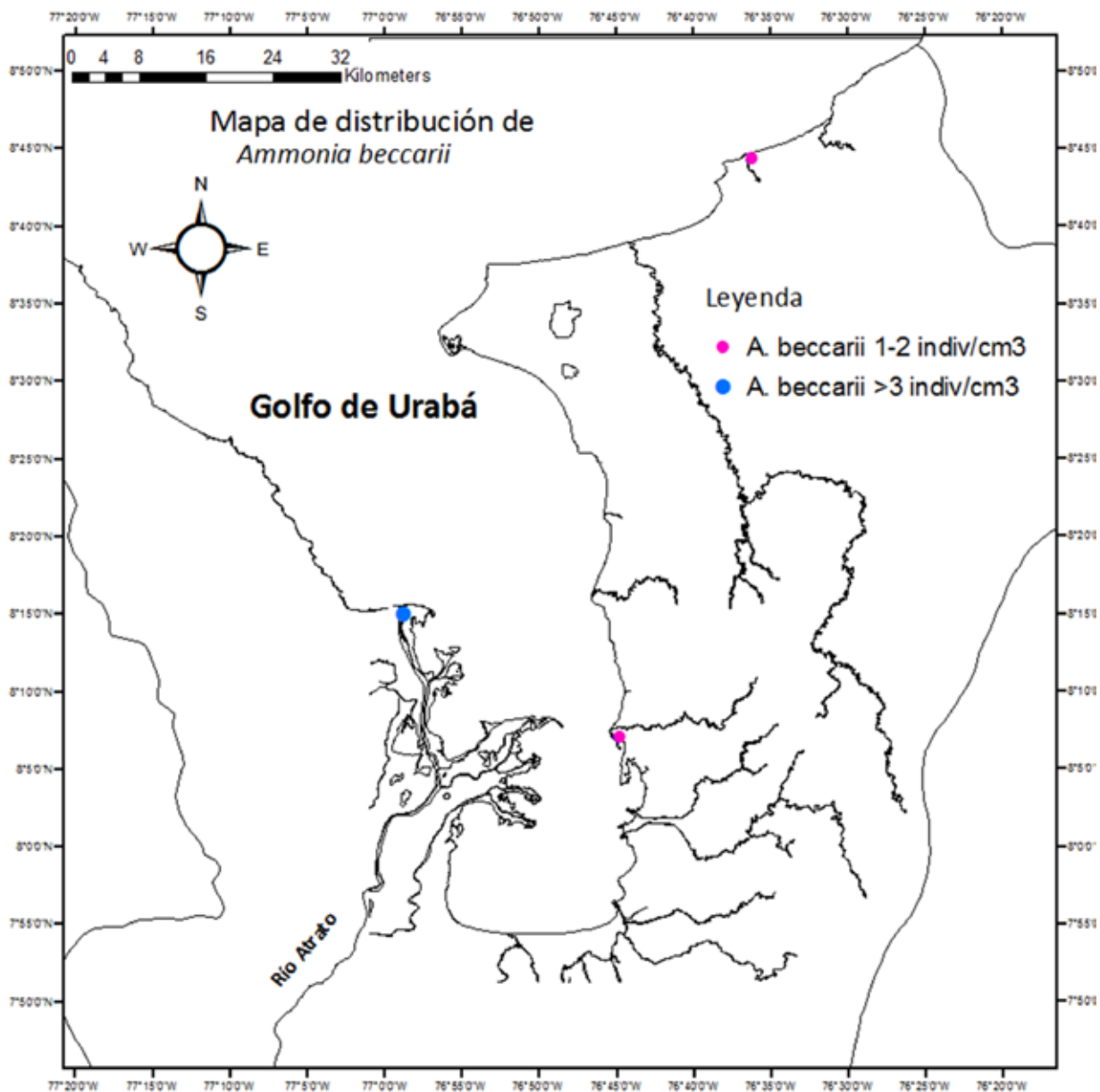


Figura 5.6. Distribución espacial de la especie más abundante de foraminíferos bentónicos calcáreos en los manglares del golfo de Urabá.

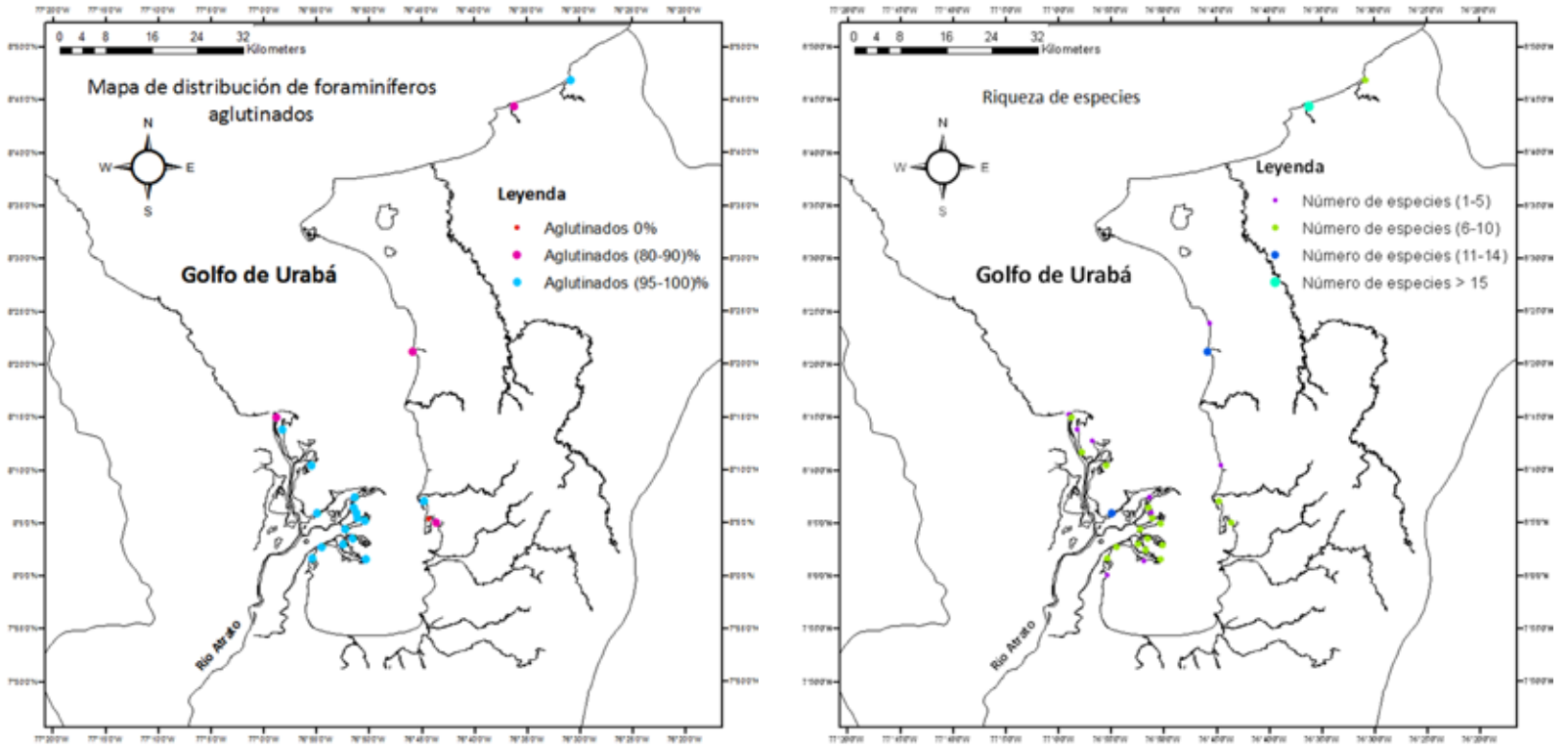


Figura 5.7. A) Número de especies encontradas en cada muestra (derecha) y B) porcentaje de especímenes aglutinados (izquierda)

En la figura 5.8 se presentan los resultados de los análisis sedimentológicos de las muestras (porcentaje de materia orgánica, de carbonatos y de lodos). Los contenidos de materia orgánica en las muestras son variables (de 0 a 95%). Valores por encima del 40% se presentaron en el delta del río Atrato, bahía Colombia y la ensenada de Rionegro. En esta última y en tres localidades del delta del río Atrato (caño el Rotico, y zonas puntuales de las bahías Cocogrande y Burrera), se presentaron los mayores porcentajes de materia orgánica. El contenido de carbonatos no superó el 6,5%, como es de esperarse en este tipo de ambientes que no favorecen la formación de carbonatos. Los mayores contenidos de carbonatos (>3%) ocurrieron en la boca del río Caimán Viejo, El Carlos y en varias muestras del delta. Por último, el porcentaje de lodos mostró que los sedimentos van desde arenas (% lodos <10%), pasando por arenas lodosas (% lodos entre 10–45%) y lodos arenosos (% lodos entre 45–90%), hasta lodos (% lodos >90%). No hay una distribución por sitios del tamaño de grano, ya que la granulometría depende de las geformas características (fondos de lagunas, canales, barras) en los distintos ecosistemas de manglar.

Los sitios de muestreo se agruparon según el manglar, su localización dentro de éste, la estabilidad de la línea de costa, la exposición al oleaje y el grado de intervención humana. Para cada grupo se hizo una descripción de las características físicas de la columna de agua, el sedimento y la fauna de foraminíferos presente (tabla 5.1). Se observó la ausencia de foraminíferos en zonas impactadas por oleaje, y las abundancias más altas en bahías y zonas protegidas. Esto se explica porque los foraminíferos prefieren zonas de baja energía donde se facilita la depositación de materia orgánica (alimento); además en ambientes energéticos (con fuerte oleaje) las condiciones varían tan rápidamente que no permiten el establecimiento de especies (Alve, 1999). No se encontró ningún parámetro ambiental entre las mediciones que se realizaron, y que explique la ausencia de foraminíferos en las muestras ribereñas de bahía Colombia, el Caribe, la ensenada de Rionegro, y algunas localidades del delta del río Atrato. Sin embargo, en la ensenada de Rionegro se observó un alto contenido de taninos en el agua, evidenciado por la coloración de la misma. Esto podría explicar la ausencia de foraminíferos en estas muestras, ya que según Alongi (1987) los

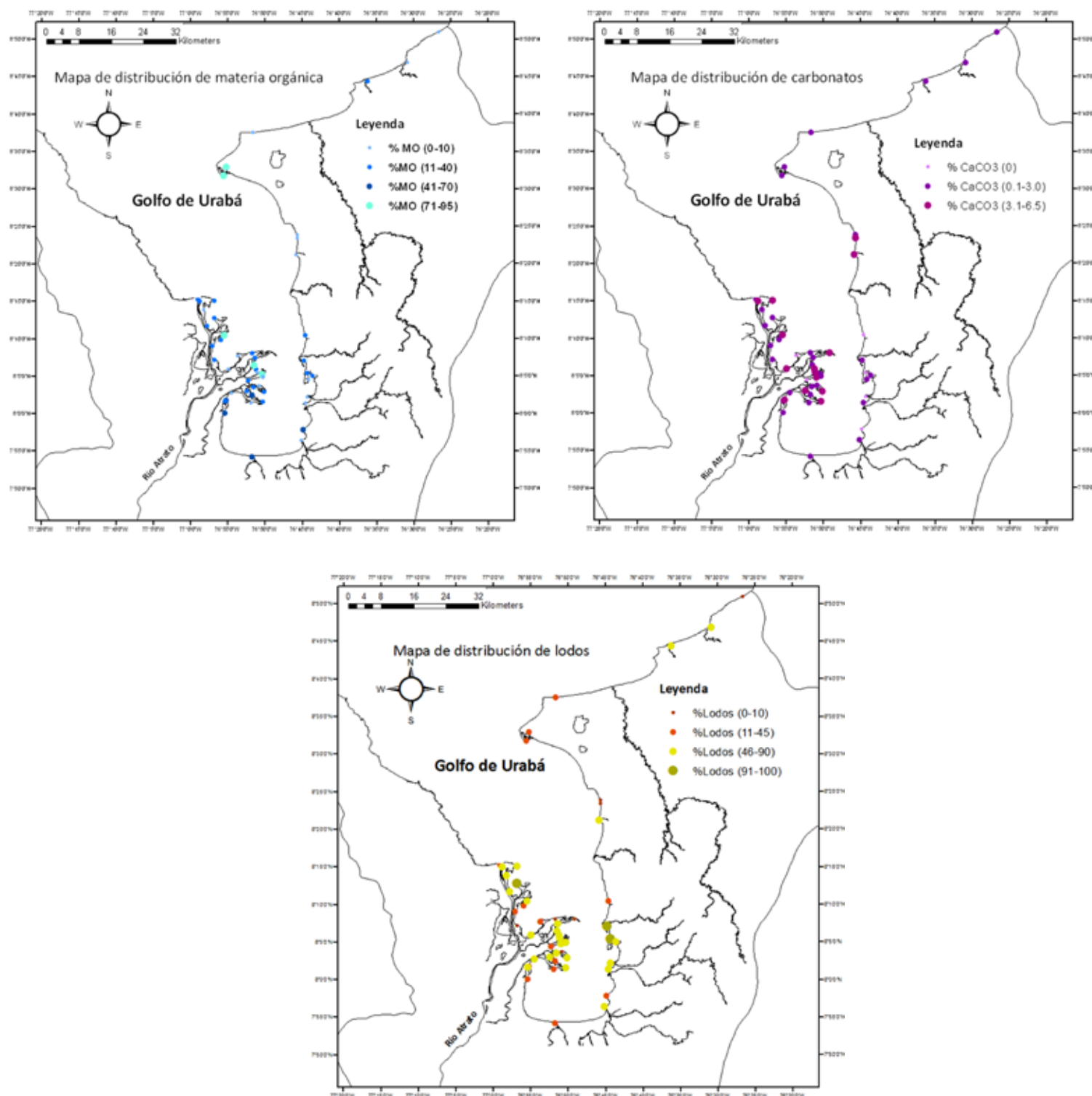


Figura 5.8. Distribución espacial de las características sedimentológicas: A) Porcentaje de materia orgánica (arriba izquierda), B) carbonatos (arriba derecha) y C) lodos (abajo) de las muestras analizadas.

taninos provenientes de las hojas de manglares adultos, pueden llegar a tener un impacto negativo sobre estos microorganismos (ser tóxicos para ellos) (Alongi, 1987). El número total de especies encontradas (31 especies) se puede decir que es bajo, respecto al número de especies reportadas en estudios en ambientes de mar abierto, como el realizado por Szarek et al. (2006) en el sur del

mar de China, donde encontraron un total de 584 especies en 45 sitios muestreados en la fracción >150 μm . Lo anterior puede ser explicado por las condiciones ambientales de mar abierto, ya que resultan ser más favorables para los foraminíferos bénticos, respecto a las condiciones ambientales de los manglares y estuarios que son estresantes para ellos (debido a los pH y salinidades bajas).

De la matriz de correlación entre las variables (abundancias totales, abundancias de las 5 especies principales, número de especies, profundidad, temperatura, salinidad, materia orgánica, lodos y carbonatos), se analizaron las correlaciones significativas al 95% (es decir, aquellas en las que existe un 95% de probabilidad de que las variables se relacionan de la manera que indica el índice de correlación). La abundancia total de foraminíferos se correlacionó con la abundancia de las 5 especies principales, así como el número de especies; aunque las mayores correlaciones

se obtuvieron con *M. fusca*, *H. canariensis* y *A. beccarii*. La ocurrencia de estas tres especies está relacionada, es decir, existe una alta probabilidad de encontrar a *H. canariensis*, *M. fusca* y *A. beccarii* juntas en la misma estación. De la misma manera *A. mexicana* se asoció con *T. squamata*, y se encontró una relación significativa entre el porcentaje de materia orgánica y esta asociación. La riqueza (número de especies) estuvo relacionada con la ocurrencia de *M. fusca* y *H. canariensis*, además con zonas lodosas y mayor contenido de carbonato de calcio.

CONCLUSIONES

1. En el ambiente estuarino del golfo de Urabá se encontró que las especies dominantes fueron *M. fusca*, *H. canariensis*, *T. squamata*, *A. mexicana* y *A. beccarii*; además el mayor porcentaje de especies fueron de caparazón aglutinado (80%), típicas en ambientes estresantes para los foraminíferos como son los manglares.
2. Se observó la predominancia de dos asociaciones: (1) *M. fusca*, *H. canariensis* (aglutinadas) y *A. beccarii* (calcárea); (2) *A. mexicana* y *T. squamata* (aglutinadas).
3. La asociación de *A. mexicana* y *T. squamata* mostró tener preferencia por la materia orgánica.
4. El porcentaje de lodos es el factor ambiental que más se relaciona con la abundancia de la especie dominante *M. fusca*. Este parámetro también se relaciona con la diversidad de especies.
5. No se presentaron foraminíferos en zonas expuestas a oleaje, en manglares de borde sin corrientes de agua dulce, y en la ensenada de Rionegro donde se registró una alta concentración de taninos en el agua.
6. Se realizó un primer análisis de las poblaciones de foraminíferos bentónicos en los ecosistemas de manglar del golfo de Urabá, que aporta al conocimiento sobre la biodiversidad de estos hábitats; y servirá como información base para definir afectaciones del ecosistema hacia el futuro, y la posibilidad de utilizar estos organismos como *bioindicadores ambientales*.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Gobernación de Antioquia por el apoyo económico que hizo posible esta investigación. Al estudiante de doctorado Mauricio Ruiz por su apoyo y asesoría. Al estudiante de pregrado José David Ramírez por su colaboración con los análisis

sedimentológicos de las muestras. A los compañeros de *Expedición Estuarina-golfo de Urabá, Fase 1*, por su acompañamiento. Por último, a los habitantes de la región de Urabá, y a los ayudantes de campo por permitir y colaborar con los muestreos.

REFERENCIAS

- Alongi D. 1987. *The influence of mangrove derived tannins on intertidal meiobenthos in tropical estuaries*. *Oceanologia*, 71: 537–540.
- Alve E. 1999. *Colonization of new habitats by benthic foraminifera: a review*. *Earth Sciences Review*, 46: 167–185.
- Barker R. 1960. *Taxonomic notes on the species figured by H.B. Brady in his report on the foraminifera dredged by H.M.S challenger during the years 1873-1876*. Society of Economy Paleontology and Mineralogy, Special Publication, 9: 1–238.
- Bernal G, Ruiz-Ochoa MA, Piedrahita MT, Restrepo E. 2008. *Foraminíferos en los sedimentos superficiales del sistema lagunar de Cispatá y la interacción Río Sinú – Mar Caribe Colombiano*. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 23: 5–20.
- Boltovskoy E, Hincapié-Martínez S. 1983. *Foraminíferos del manglar de Tesca, Cartagena, Colombia*. *Revista Española de Micropaleontología*, 15(2): 205–220.
- Boltovskoy E. 1965. *Los foraminíferos recientes: Biología, Métodos de estudio, aplicación oceanográfica*. Editorial Universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Buzas M, Severin K. 1982. *Distribution and systematics of foraminifera in the Indian River, Florida*. *Smithsonian Contributions to Paleobiology*, 6: 1–73.
- Buzas, M, Smith R, Beem, K. 1977. *Ecology and systematics of foraminifera in two thalassia habitats, Jamaica, West Indies*. *Smithsonian Contributions to Paleobiology*. 31: 1–139.
- Châtelet EA, Bout-Roumzeilles V, Riboulleau A, Trentesaux A. 2008. *Sediment (grain size and clay mineralogy) and organic matter quality control on living benthic foraminifera*. *Revue de micropaléontologie*, 52: 75–84.
- Culver SJ. 1990. *Benthic Foraminifera of Puerto Rican mangrove-lagoon systems: potential for paleoenvironmental interpretations*. *Palaios*, 5(1): 34–51.
- Debenay JP, Guiral D, Parra M. 2002. *Ecological factors acting on the microfauna in mangrove swamps. The case of foraminifera assemblages in French Guiana*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55: 509–533.
- Debenay JP, Thi Luan B. 2006. *Foraminiferal assemblages and the confinement index as tools for assessment of saline intrusion and human impact in the Mekong Delta and neighboring areas (Vietnam)*. *Revue de micropaleontology*, 49(2): 74–85.
- Diz P, Francés G. 2008. *Distribution of live benthic foraminifera in the Ria Vigo (NW Spain)*. *Marine Micropaleontology*, 66: 165–191.
- Gooday AJ, Hughes JA. 2002. *Foraminifera associated with phytodetritus deposits at a bathyal site in the northern Rockall Trough (NE Atlantic): seasonal contrasts and a comparison of stained and dead assemblages*. *Marine Micropaleontology*, 46: 83–110.
- Gooday AJ, Bernhard JM, Levin LA, Suhr SB. 2000. *Foraminifera in the Arabian Sea oxygen minimum zone and other oxygen-deficient settings: taxonomic composition, diversity, and relation to metazoan faunas*. *Deep Sea Research, Part II*. 47: 25–54.
- Horton P, Larcombe P, Woodroffe SA, Whittaker JE, Wright MR, Wynn C. 2003. *Contemporary foraminiferal distributions of a mangrove environment, Great Barrier Reef coastline, Australia: implications for sea-level reconstructions*. *Marine Geology*, 198: 225–243.
- Loeblich AR, Tappan H. 1987. *Foraminiferal genera and their classification*. Van Norstrand Reinhold, New York.
- McCulloch I. 1977. *Qualitative observations on recent foraminiferal test with emphasis on the Eastern Pacific*. University of Southern California, Los Angeles.
- Mojtahid M, Jorissen F, Lansard B, Fontanier C, Bombled B, Rabouille C. 2009. *Spatial distribution of live benthic foraminifera in the Rhône prodelta: Faunal response to a continental marine organic matter gradient*. *Marine Micropaleontology*, 70: 177–200.

- Morrisey DJ, Skilleterb GA, Ellisa JI, Burnsc BR, Kempa CE, Burta K. 2003. *Differences in benthic fauna and sediment among mangrove (Avicennia marina var. australasica) stands of different ages in New Zealand*. Estuarine Coastal And Shelf Science, 56: 581–592.
- Murray J. 2006. *Ecology and applications of benthic foraminifera*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Nagelkerken I, Blaber SJM, Bouillon S, Green P, Haywood M, Kirton LG, Meynecke JO, Pawlik J, Penrose HM, Sasekumar A, Somerfield PJ. 2008. *The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: A review*. Aquatic Botany, 89: 155-185.
- Nooijer LJ, Duijnste IAP, Bergman MJN, van der Zwaan GJ. 2008. *The ecology of benthic foraminifera across the Frisian Front, southern North Sea*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 78: 715-126.
- Parada C. 1990. *Evolución de la Ciénaga de Portonaito (isla Barú, Caribe colombiano), basada en estudios de foraminíferos bentónicos y sedimentos*. Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas, 4(2): 196–210.
- Parada C. 1991. *Claves de identificación para géneros de foraminíferos*. Curso Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.
- Parada C, Pinto J. 1986. *Foraminíferos bentónicos recientes de isla Barú*. Fondo FEN Colombia, Bogotá D.C.
- Parada-Ruffinatti C, Pinto P. 1996. *Foraminíferos del Pleistoceno-Holoceno en el Caribe colombiano*. En: Pinto P. (ed.). Instituto de Ciencias Naturales. Instituto de Historia Natural. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.
- Progene M de PS, Da Costa ML, Berrêdo JF. 2010. *Continental and marine contributions to formation of mangrove sediments in an Eastern Amazonian mudplain: The case of the Marapanim Estuary*. Journal of South American Earth Sciences, 29: 427–438.
- Szarek R, Wolfgang K, Hiroshi K, Hiroshi K. 2005. *Distribution of recent benthic foraminifera on the Sunda Shelf (South China Sea)*. Marine Micropaleontology, 61(4): 171–195.
- Semensatto DL, Ferreira-Funo RH, Dias-Brito D, Coelho-Jr C. 2009. *Foraminiferal ecological zonation along a Brazilian mangrove transect: Diversity, morphotypes and the influence of subaerial exposure time*. Revue De Micropaleontology, 52: 67–74.
- Sen-Gupta BK. 1999. *Modern foraminifera*. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
- Shepherd AS, Rathburn AE, Pérez ME 2006. *Living foraminiferal assemblages from the Southern California margin: A comparison of the >150, 63–150, and >63 µm fractions*. Marine Micropaleontology, 65: 54–77.
- Vanicek V, Juracic M, Bajraktarevic Z, Cosovic V. 2000. *Benthic Foraminiferal Assemblages in a Restricted Environment. An example from Mjet lakes (Adriatic Sea, Croatia)*. Geologia Croatica, 53(2): 269–27.





CAPÍTULO

Moluscos (gasterópodos y bivalvos)
asociados a las raíces sumergidas
en los manglares del golfo de Urabá

6



Moluscos (gasterópodos y bivalvos) asociados a las raíces sumergidas en los manglares del golfo de Urabá

Juan F. Blanco-Libreros^{1,3} y Luis Ferney Ortiz-Acevedo^{1,2,4}

¹Grupo ELICE (Ecología Lógica: Islas, Costas y Estuarios),

²Grupo LimnoBasE y Biotamar (Limnología Básica y Experimental y Biología y Taxonomía Marina), Instituto de Biología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Antioquia, Medellín.

Calle 70 #52-21. A.A. 1226.

³juan.blanco@udea.edu.co; ⁴lfortiz24@gmail.com.

Resumen: Los numerosos estudios sobre las comunidades de moluscos asociadas a las raíces de los mangles en el Gran Caribe, y en el Caribe colombiano, sugieren que los moluscos son excelentes indicadores de variables ambientales tales como la salinidad. Sin embargo, no existe hasta el momento un estudio que evalúe el valor de los moluscos como bioindicadores en la totalidad del golfo de Urabá y el área adyacente en el Caribe sur. Entre junio y agosto de 2009, se colectaron 69932 individuos de moluscos asociados a las raíces del mangle rojo (*Rhizophora mangle*), en 86 estaciones a lo largo del litoral del golfo de Urabá. En cada estación se cortaron y colectaron al azar varias raíces que fueron fijadas con formol al 10%. Los individuos colectados se cuantificaron por género o especie. La comunidad fue extremadamente pobre (8 especies), siendo los bivalvos *Mytilopsis* cf. *sallei* y *Brachidontes* cf. *exustus* dominantes, representando el 94% de la abundancia total. La abundancia de los bivalvos *Mytilopsis* y *Brachidontes*, y del gasterópodo *Potamopyrgus* sp., no se correlacionó con la salinidad, mientras que la del gasterópodo *Neritina virginea* y la de la ostra del manglar *Crassostrea rhizophorae* se correlacionó positivamente. De acuerdo a estos resultados y a la literatura, las especies se clasifican como eurihalinas (amplio ámbito de tolerancia a la salinidad). Finalmente, la composición de especies fue muy homogénea en todo el Golfo, distinguiéndose solamente la ensenada de Rionegro por la dominancia de *Mytilopsis* y por sus características más salinas. En conclusión, la pobreza de especies de moluscos (predominantemente eurihalinos), asociados a las raíces de *R. mangle* en el golfo de Urabá, poco variables en el espacio, apoya la hipótesis de que el Golfo es un gran estuario. No se descarta la influencia de los mares de leva, y la deforestación de los manglares como disturbios que influyen sobre la presencia de estos moluscos.

Abstract: Numerous studies about mangrove-root fouling molluscs in the Great Caribbean and the Caribbean coast of Colombia, suggest that they are excellent indicators of environmental variables such as salinity. Between June and August, 69932 individuals of mangrove root-fouling molluscs were collected at 86 stations along the coastline of the Gulf of Urabá and the adjacent area in the Southern Caribbean. Several red mangrove (*Rhizophora mangle*) roots were cut and collected at each station and then preserved (10% formalin). The individuals collected were quantified to either species or genus level. The community was extremely poor (only eight species), and the mussels *Mytilopsis* cf. *sallei* and *Brachidontes* cf. *exustus* were the dominant species, accounting for 94% of the total abundance. The abundance of the mussels *Mytilopsis* and *Brachidontes*, and the snail *Potamopyrgus* sp., exhibited no correlation with salinity, while the snail *Neritina virginea* and the mangrove oyster *Crassostrea rhizophorae* exhibited a significant positive correlation. According to our results and the literature, the above species are classified as euryhaline (broadly tolerant). Finally, the species composition was highly homogeneous throughout the Gulf, with the exemption of the Rionegro Cove due the higher salinity. In conclusion, the species poor mollusc-assemblage associated, was little variable in space thus supporting the hypothesis that the Gulf of Urabá is a large estuary. Storm surges and mangrove deforestation are disturbances seemingly affecting establishment of root-fouling molluscs.

INTRODUCCION

En las zonas costeras tropicales el manglar es el ecosistema intermareal dominante; siendo así uno de los más productivos del planeta, y sirve de hábitat a un gran número de especies de importancia ecológica (Twilley, 1998). Sea formando parches o bandas compuestas por una o varias especies de mangles, los manglares crean un hábitat estable sobre el suelo fango-arenoso que puede ser colonizado por una gran variedad de organismos (Hogarth, 2007). En los manglares del Caribe, las raíces del mangle rojo *Rhizophora mangle* exhiben una gran complejidad física, proporcionando condiciones para el desarrollo y la alimentación de larvas, juveniles y adultos de peces y crustáceos (Twilley, 1998). Además una gran variedad de invertebrados (e.g. esponjas, hidrozoarios, moluscos, crustáceos, anélidos) y algas (denominados *epibiontes*): viven adheridos a o se desplazan sobre la superficie de las raíces de los mangles. Entre estos invertebrados, los moluscos son uno de los grupos más abundantes, representados generalmente por las clases *Gastropoda* (caracoles) y *Bivalvia* (mejillones y ostras, entre otros) (Hogarth, 2007).

Los moluscos del manglar, y en particular los asociados a las raíces, han sido ampliamente estudiados en todo el mundo; y debido a que tienen respuestas claras ante diferentes condiciones ambientales, han sido utilizados como *bioindicadores*. Por ejemplo, presentan adaptaciones marcadas a variables como salinidad, pH, concentración de

oxígeno y textura del suelo (Vermeij, 1971); y por esa razón presentan asociaciones estrechas con biotopos particulares (Cantera et al., 1983, 1999). De hecho, en algunos manglares africanos ha sido posible distinguir los diferentes tipos de acuerdo con la zonación y distribución de sus moluscos (Plaziat, 1984). En la bahía de Buenaventura (Pacífico colombiano), se ha documentado que la estructura y composición de la fauna asociada al suelo, y las raíces en el manglar, reflejan las diferencias estructurales de la vegetación y de las características físico-químicas del agua y del suelo (Blanco, 1995; Cantera et al., 1999; Cantera y Blanco, 2001). La distribución de los moluscos también muestra, a menudo, un marcado patrón de zonificación vertical (Cantera et al., 1999). Por ejemplo, mientras los mejillones se encuentran alrededor del nivel del agua, algunos gasterópodos pulmonados (e.g. *Melampus coffeus*) se distribuyen por encima (Proffitt y Devlin, 2005), y otros gasterópodos con agallas (e.g. *Neritina virginea*) se distribuyen por debajo, aunque pueden moverse a lo largo de las raíces hasta el suelo en función de las oscilaciones de la marea (Ortiz y Blanco, 2012; Blanco y Castaño, 2012).

El objetivo de este trabajo fue determinar la composición de especies de moluscos asociados a las raíces de los mangles, y establecer su distribución espacial dentro del golfo de Urabá. Adicionalmente, se relacionó la distribución espacial de la abundancia con la salinidad y otras variables del agua superficial, para valorar su papel como bioindicadores.

ANTECEDENTES

Varios trabajos hacen referencia a la fauna asociada a las raíces del mangle rojo, *Rhizophora mangle*, en diferentes partes del Caribe (ver capítulo 9). Aunque las primeras publicaciones se remontan a la década de los ochenta (bahía Beche, Venezuela: Sutherland, 1980; punta Galeta, Panamá: Batista, 1980), fueron los estudios realizados en Belice (América Central) durante los años noventa, los que permitieron un mejor entendimiento de los patrones de distribución y los determinantes a meso y macroescala de los epibiontes asociados

a las raíces de mangle (Ellison y Farnsworth, 1990, 1992; Ellison et al., 1996; Farnsworth y Ellison, 1996). Además, observaron el mutualismo facultativo entre los poríferos y el crecimiento de las raíces de los mangles (Farnsworth y Ellison, 1996). Por otra parte, varios estudios realizados en Venezuela han contribuido a cuantificar la diversidad taxonómica de los epibiontes asociados a las raíces de los mangles, y a comprender las variables que explican su distribución espacial (e.g. Márquez y Jiménez, 2002; Cedeño et al., 2010).

El primer estudio acerca de macroinvertebrados asociados a las raíces de los mangles, en el Caribe colombiano, fue publicado por Rudo von Cosel dentro del trabajo sobre moluscos de la ciénaga grande de Santa Marta (Cosel, 1973). Durante la década de los años setenta, los estudios se concentraron en la "sub-área de Santa Marta" y la parte más al norte del "Caribe colombiano sur" (Perdomo, 1971; Pérez y Victoria, 1977, 1978); tendencia ésta que continuó hasta los años noventa y el comienzo del siglo XXI (Caicedo-Lara et al., 1992; Leyton et al., 1992; Reyes y Campos, 1992a,b; Díaz, 1995; Quiceno, 2000; Prüssman, 2005).

Las localidades más ampliamente muestreadas son la ciénaga grande de Santa Marta, la bahía de Cartagena y el golfo de Morrosquillo (aproximadamente 13 estudios) y, recientemente, el archipiélago de San Andrés y Providencia (Londoño-Mesa et al., 2002; Vilardy y Polanía, 2002; Moreno, 2002; Romero, 2004). Sin embargo, el conocimiento que se tiene sobre las comunidades de invertebrados asociados a raíces de mangle en el golfo de Urabá, es significativamente menor. A finales de los años ochenta se realizó el primer estudio en la bahía de Marirrí (Llano y Palacio, 1988), aunque previamente se habían hecho observaciones dentro del estudio de factibilidad de cultivo de ostra (Escobar, 1981). En 1991 se ampliaron los muestreos a la bahía El Rotico y la ensenada de Rionegro, además de la bahía de Marirrí (Román-Valencia, 1991); pero solamente durante el proyecto "*Caracterización y Zonificación de los Manglares del Golfo de Urabá, Departamento de Antioquia*" (CORPOURABÁ, 2003, 2005), se muestrearon extensamente las comunidades de las raíces de los mangles (Rojas y Palacio,

2003). Recientemente, se realizó un estudio en las bahías Turbo y El Uno en el costado oriental del Golfo, con la mayor cobertura temporal hasta el momento (12 meses durante 2005) (García y Correa, 2006). En esa investigación se caracterizó la variación temporal de los macroinvertebrados asociados a las raíces sumergidas de *R. mangle*, en función de la dinámica de la salinidad. Sin embargo, el material existente y disponible de los moluscos del golfo de Urabá que se encuentra depositado en museos del país, es escaso (ver capítulo 1).

Aunque hay evidencias de que la salinidad podría ser una variable importante que explique los patrones espaciales (biogeográficos) de la distribución de las especies de moluscos en algunas partes del Golfo (Rojas y Palacio, 2003; García y Correa, 2006), se desconoce su influencia en el Urabá chocono y el Caribe antioqueño. También se desconoce la influencia de otras variables físico-químicas del agua, que se sabe que son importantes para los moluscos en el pacífico colombiano (Cantera et al., 1983; Prah et al., 1990; Cantera 1991a,b; Cantera et al., 1994; Blanco, 1995; Cantera et al., 1999; Cantera y Blanco, 2001; Lucero et al., 2006).

Este proyecto buscó abarcar todo el golfo de Urabá y el área adyacente del Caribe antioqueño, con la finalidad de aportar información tanto sobre la diversidad taxonómica como sobre los patrones de distribución de las especies de moluscos. Además se realizó un esfuerzo de representación cartográfica de las localidades muestreadas, y de la presencia de las especies en cada una de ellas, para que sirva de referencia en estudios futuros sobre cambios espacio-temporales de la distribución.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de estaciones de muestreo

Con base en mapas e imágenes de satélite, estudios disponibles y el concepto de los expertos, se identificaron los sitios con presencia real o potencial de áreas de manglar. Se realizaron dos salidas de campo del 3 al 14 de junio y del 3 al 10 de agosto de 2009, durante las cuales se visitaron 86 estaciones de muestreo correspondientes a 39

áreas geográficas (figura 6.1). Sesenta y una (61) estaciones de muestreo, dentro de 27 áreas geográficas (i.e. bahías, ensenadas, lagunas costeras), se ubicaron en el departamento de Antioquia desde boca Tarena en el delta del río Atrato (municipio de Turbo) hasta el río Volcán (municipio de Arboletes), se visitaron una vez (sin réplicas temporales), y

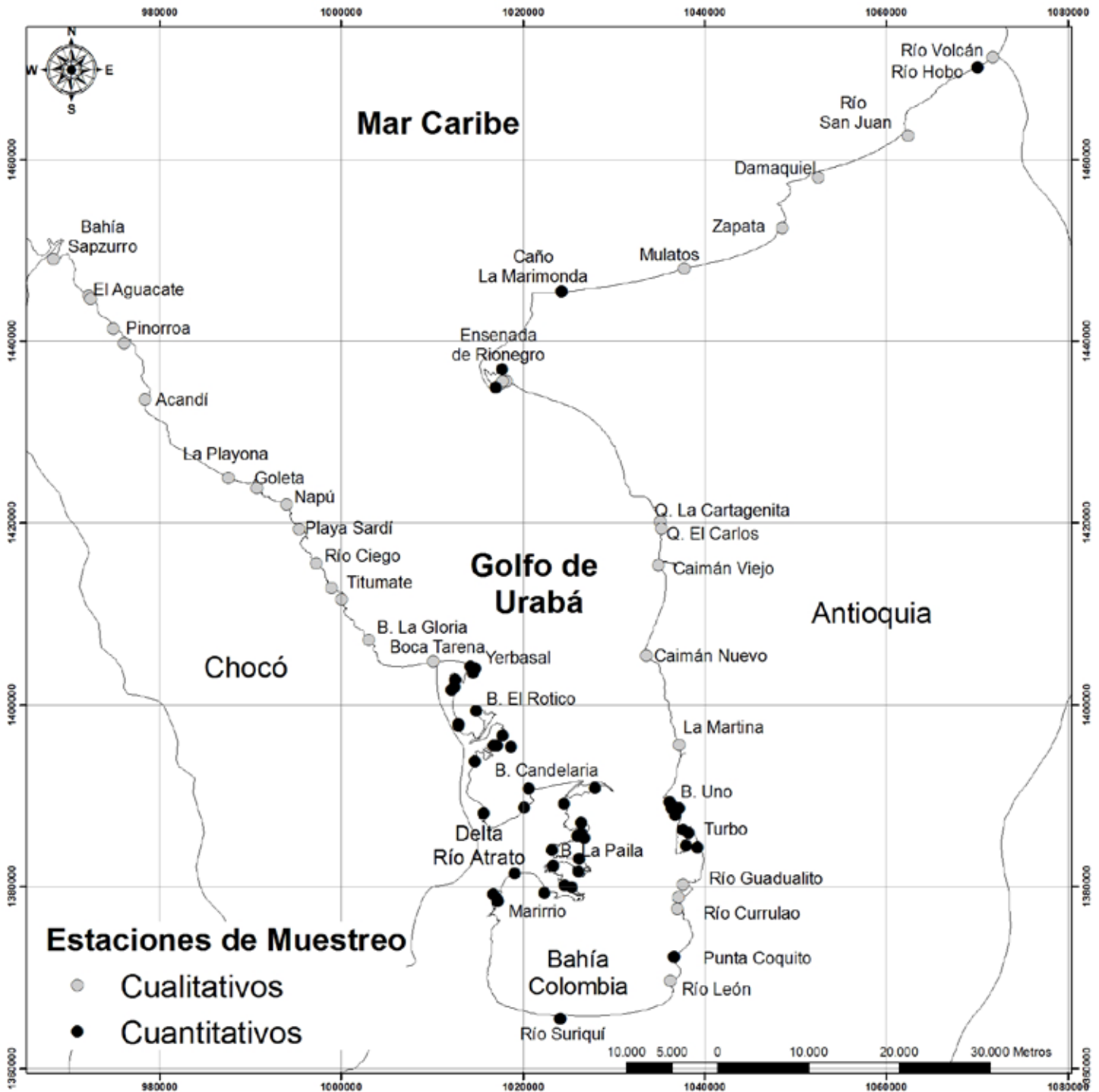


Figura 6.1. Ubicación de las estaciones de muestreo y las áreas geográficas en el golfo de Urabá. Muestreo cuantitativo que involucra la colecta de raíces (punto negro); muestreo cualitativo que involucra observaciones (punto gris).

se realizaron muestreos cuantitativos y cualitativos. El muestreo cuantitativo consistió en la recolección de raíces de mangle, mientras el muestreo cualitativo consistió en la observación de los moluscos sobre ellas. Además se visitaron 15 estaciones en 12 áreas geográficas en el departamento de Chocó, en las cuales se realizaron muestreos cualitativos, sin la colecta de raíces, debido a la baja abundancia de individuos. En la figura 6.1 se observa la ubicación de las estaciones de muestreo y sus

respectivas áreas geográficas, y se indica el tipo de muestreo realizado.

Toma de muestras

En las áreas geográficas seleccionadas se establecieron una o varias estaciones (1–5) de muestreo, dependiendo de la cobertura de manglar. En algunas estaciones donde las áreas de manglar eran pequeñas (compuestas por pocos árboles, posiblemente

debido a actividades antrópicas), las raíces estuvieron usualmente desprovistas de fauna epibionte y, por tanto, no se colectaron. En las estaciones dominadas por el mangle negro *Avicennia germinans* (e.g. río León, río Guadualito o El Tres) solamente se realizaron muestreos cualitativos, debido a que esta especie no forma raíces aéreas, y sus troncos permanecieron emergidos y desprovistos de fauna epibionte. En las estaciones con mayor cobertura de manglar (dominado por *R. mangle*) se seleccionaron varios árboles (3–5) distanciados 50 m uno del otro, a los cuales se les cortaron varias raíces (3–5) no fijas al sustrato areno-fangoso. Antes de cortar las raíces, se recubrieron cuidadosamente con una bolsa de polietileno, para evitar la pérdida de especies móviles. Las raíces se cortaron a 5 cm por encima de la línea de marea observada. Las raíces fueron fijadas con formol al 10%, rotuladas y selladas, y posteriormente fueron transportadas a Medellín, donde se llevó a cabo el proceso de separación en el *Laboratorio de Limnología* de la Universidad de Antioquia.

En cada estación se midieron *in situ*, parámetros fisicoquímicos del agua a nivel superficial tales como: temperatura, pH, conductividad, salinidad y el oxígeno disuelto, utilizando una sonda multiparamétrica YSI modelo 85, y un peachímetro Hanna (HI98128). La toma de las variables en algunas estaciones de muestreo no fue posible debido a daños de los equipos; en este caso se consideraron los datos reportados en trabajos anteriores durante

épocas climáticas similares (Rojas y Palacio, 2003; García-Valencia, 2007).

Trabajo de laboratorio

Las raíces se sacaron cuidadosamente de las bolsas y fueron dispuestas sobre bandejas plásticas. Los macroinvertebrados que se observaron a simple vista fueron separados de las raíces por taxa. Las formas sésiles se retiraron con la ayuda de una lengüeta metálica. En el caso de los moluscos bivalvos, como las ostras, fueron revisados cuidadosamente para separar los organismos asociados a las mismas. Después de la separación de los individuos de las raíces, a éstas se les midió la longitud total y el diámetro, cerca al punto de corte y cerca al extremo distal, para estimar su área. Las raíces se despedazaron para extraer los organismos de su interior, particularmente los moluscos perforadores (Familia Teredinidae).

Los taxa fueron almacenados en tarros plásticos con alcohol al 70%, los cuales fueron rotulados, indicando sitio y fecha de muestreo. Luego se procedió con la determinación taxonómica y su respectiva cuantificación de la abundancia. La identificación se llevó a cabo con bibliografía especializada: Keen (1971), Abbott (1974), Cruz y Jiménez (1994), Díaz y Puyana (1994), Kenneth (2000), Ponder y Linberg (2008), así como otras tesis y trabajos del Caribe colombiano. Los especímenes reposan en la Colección de Invertebrados de la Universidad de Antioquia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físico-químicas del agua

El contenido de oxígeno disuelto varió considerablemente (rango: 0,55–7,8 mg/L); sin embargo no se observó un patrón geográfico claro. Los valores de pH también variaron significativamente, pero sin un patrón espacial definido (rango: 6,1–8,1). La temperatura del agua mostró poca variación (27–32°C).

En contraste a las otras variables medidas, la salinidad del agua presentó las mayores variaciones entre las estaciones. Las estaciones en la bahía

Turbo y el río Hobo mostraron los valores más altos (rango: 19–30 ups). Mientras el río Hobo se encuentra en el área geográfica ubicada en el extremo nororiental (Caribe norte o Caribe antioqueño), influenciada directamente por las aguas del mar Caribe, y con una baja pluviosidad anual que mantiene ríos y quebradas de bajo caudales, usualmente estacionales o efímeras; la bahía Turbo se encuentra ubicada en la parte medial del golfo de Urabá sobre la costa oriental, y su disposición sur-norte combinada con bajo aporte de escorrentía de agua dulce, y vientos que soplan predominantemente del sur es probable

que impiden el recambio con las aguas del Golfo y causan altos tiempos de residencia de su reservorio, así como una alta evaporación (J.F. Blanco, observaciones personales). Los valores más bajos ($<0,2$ ups) se observaron en varias estaciones de la bahía El Rotico, que recibe las aguas dulces del río Atrato por su boca principal (brazo El Roto).

Con base en los valores de salinidad observados durante el periodo de muestreo, los cuales fueron consistentes con lo reportado en la literatura, el golfo

de Urabá se dividió en dos sectores (figura 6.2): sur y norte. En el sector sur prevalecieron condiciones estuarinas caracterizadas por bajas salinidades (rango: $0,1-7,9$ ups), y estuvo comprendido por la cabecera municipal del municipio de Turbo, Currulao, los caseríos El Roto, Bocas del Atrato y los brazos de desembocadura del río Atrato. Dentro de este ámbito oligo- y mixo-halino, se observaron salinidades atípicamente altas ($10,2, 19,4$ y $25,9$ ups), en la bahía Turbo, posiblemente causadas por los procesos anteriormente descritos. El sector

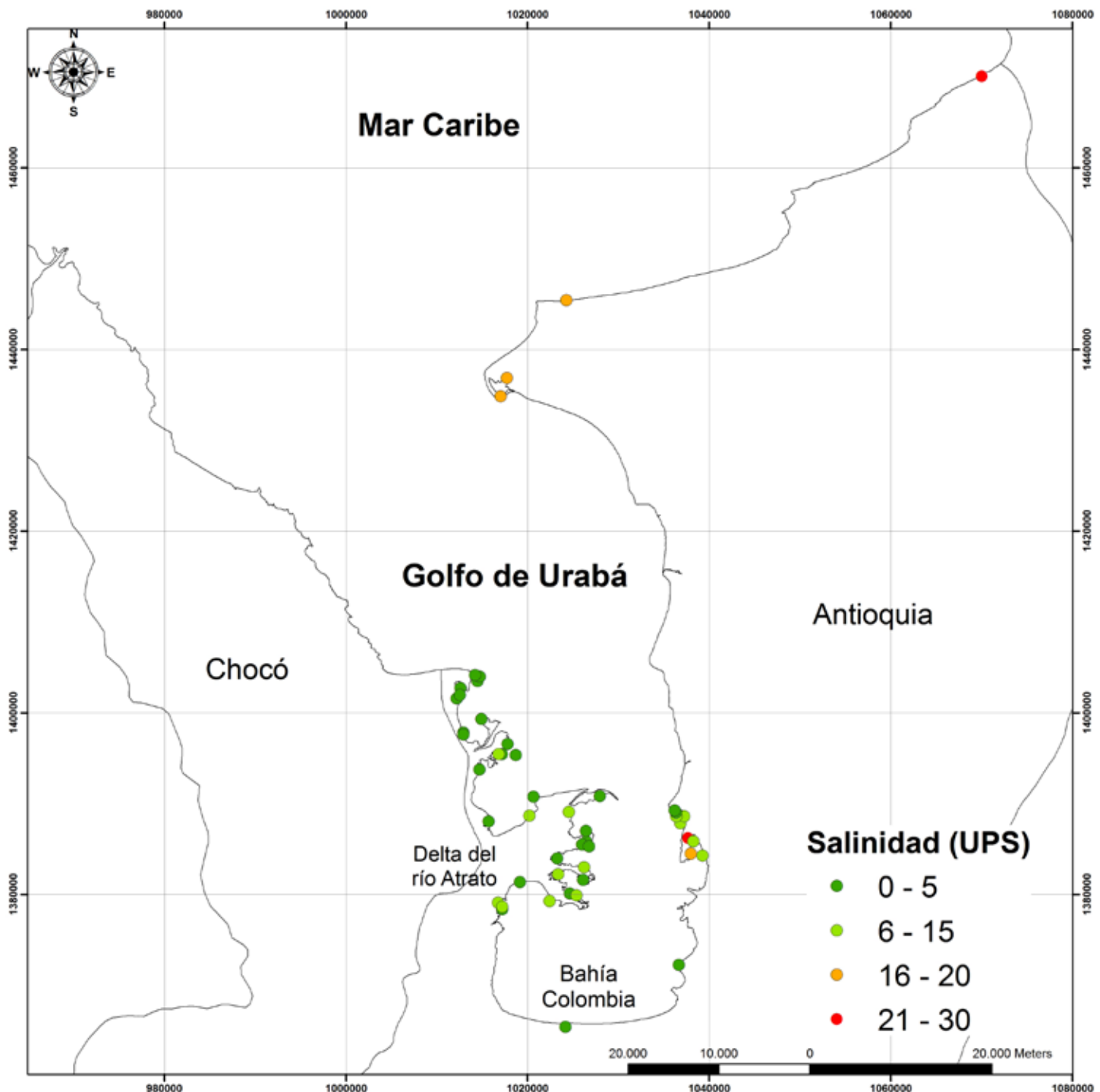


Figura 6.2. Distribución de la salinidad superficial del agua en el golfo de Urabá durante los meses de junio y agosto.

norte presentó salinidades altas y comprendió la ensenada de Rionegro y la costa Caribe antioqueña. La ensenada de Rionegro (municipio de Necoclí) presentó salinidades entre 17–24 ups (polihalinas), posiblemente explicadas por la entrada episódica de agua marina, así como por una limitada escorrentía superficial de agua dulce desde las ciénagas aledañas, durante el periodo de estudio, y por la posible alta evapotranspiración a raíz de que, geomorfológicamente, se puede clasificar como una laguna costera (I.D. Correa, comunicación personal). En los manglares ubicados en el Caribe antioqueño (municipios de San Juan de Urabá y Arboletes) se presentaron las mayores salinidades (rango: 28–30 ups), al estar expuestos a la influencia marina directa y a las bajas descargas de agua dulce.

Características oceanográficas

El continuo aporte de agua dulce al golfo de Urabá por parte del río Atrato y otros de menor caudal, confiere condiciones estuarinas durante todo el año (García-Valencia, 2007). Este aporte divide al Golfo en dos sectores con respecto a la salinidad. El sector al sur de una línea imaginaria entre punta Yerbazal (al occidente) y Caimán Nuevo (al oriente), presenta salinidades bajas resultado de los grandes y continuos aportes de agua dulce, principalmente del río Atrato, pero también de otros ríos de menor caudal como el Suriquí, León, Currulao, Guadualito, Turbo, Caimán Nuevo y Caimán Viejo, así como de corrientes menores (e.g. quebradas, escorrentías difusas y aportes directos de aguas lluvias). Algunas áreas internas del Golfo presentan salinidades relativamente altas, posiblemente debido a que aguas de mayor salinidad quedan confinadas dentro accidentes geográficos (e.g. bahías), rodeados por aportes fluviales. En cuanto a los parámetros fisicoquímicos, hay que tener en cuenta que estos fueron medidos durante los meses de junio y agosto, caracterizados por tiempo seco, con precipitaciones esporádicas en el área de estudio y en el interior del país. Los patrones de distribución en relación a los parámetros fisicoquímicos deben considerarse con sumo cuidado, a causa de que los valores fueron medidos en una época predominantemente seca: y no se puede generalizar sobre lo que acontece a lo largo del año. García-Valencia (2007) reportó

importantes variaciones en las aguas del Golfo entre las épocas húmeda y seca. La dirección de los vientos Alisios influye directamente en la salinidad, ya que durante la época lluviosa el Golfo se ve afectado por los vientos provenientes del Pacífico, que penetran por el sur y el sudeste, y que ayudan a exportar el agua dulce del Golfo; predominando así valores altos de salinidad. Durante la época seca, los vientos Alisios (dirección norte-sur) retienen los aportes de agua dulce del río Atrato en el sector sur del Golfo, predominando las salinidades bajas. En el capítulo 3 se describió detalladamente la dinámica del oleaje y del viento, en el conjunto del desarrollo de la presente investigación.

El segundo sector se ubica entre la línea imaginaria entre punta Yerbazal y Caimán Nuevo y punta Caribana. Rojas y Palacio (2003) también reportaron una alta salinidad en la ensenada de Rionegro (24 ups), confirmando lo encontrado en nuestro estudio. Finalmente, las mayores salinidades (30 ups) se encuentran en la región del Darién chocono y del Caribe antioqueño (al norte de punta Caribaná), debido a la predominancia de las condiciones marinas, y a los efímeros y dispersos aportes de agua dulce a través de caños, con la excepción de unos pocos ríos permanentes que nacen en el interior (río Acandí en Chocó y ríos Mulatos, Damaquiel y San Juan en Antioquia). En nuestro estudio, la intrusión de la cuña salina fue evidente en los manglares ubicados en las desembocaduras del caño de La Marimonda y de los ríos Zapata, Damaquiel, San Juan y Hobo.

Composición, estructura y variación espacial de la comunidad epibionte

Se recolectaron 245 raíces de *R. mangle*, y 69.932 individuos de moluscos pertenecientes a 7 especies pertenecientes a 4 familias de la clase Bivalvia y 3 de la clase Gastropoda. Para los bivalvos de la familia Teredinidae, solo se reportó su presencia o ausencia en las áreas geográficas y estaciones de muestreo, ya que su cuantificación se dificultó por su hábito endobionte: siendo horadador de las raíces y material leñoso en descomposición. La descripción de las especies encontradas se muestra en la tabla 6.1.

Tabla 6.1. Descripciones taxonómicas de los moluscos asociados a las raíces de *R. mangle* en el golfo de Urabá.

Clase	Familia	Género	Especie	Descripción
Bivalvia	Dreissenidae	<i>Mytilopsis</i> Conrad 1858	<i>Mytilopsis</i> sp.	Concha mitiliforme ornamentada con líneas concéntricas. El periostraco se encuentra plegado en cada línea dando una apariencia de "tejas" de color café oscuro. Bisó bien desarrollado. La parte interna de la concha tiene la huella del músculo abductor en posición apical. Parte interna de la concha es nacarada. La mayor parte de la literatura del Caribe colombiano reporta a <i>M. sallei</i> como la especie dominante; sin embargo no hay descripciones confiables en ninguna de las fuentes consultadas que permitan la determinación de <i>Mytilopsis</i> a nivel específico.
	Ostreidae	<i>Crassostrea</i> Sacco 1897	<i>Crassostrea</i> <i>rhizophorae</i>	Concha grande (tamaño máximo de 39 mm), de forma variable, generalmente alargada, gruesa; valva superior pequeña y aplanada; resilio estriado longitudinalmente; color gris claro; interior blanco, con la huella muscular teñida de rosado a violeta. Comúnmente adherida a las raíces de <i>Rhizophora mangle</i> o formando bancos sobre fondos someros, particularmente en aguas estuarinas o de salinidad reducida.
	Mytilidae	<i>Brachidontes</i> Swanson 1840	<i>Brachidontes</i> sp.	Concha mitiliforme, ornamentada con ribetes o líneas radiales bifurcadas; márgenes dentados. La concha presenta coloración externa marrón o café oscuro. La interna de la concha es nacarada; concha sin periostraco (lisa). La mayor parte de la literatura del Caribe colombiano reporta a <i>B. domingensis</i> y <i>B. exustus</i> como especies dominantes; sin embargo no hay descripciones confiables que permitan la determinación de <i>Brachidontes</i> a nivel específico. Para el golfo de Urabá se ha reportado <i>B. exustus</i> .
	Teredinidae			El cuerpo es alargado y blando, y las valvas son vestigiales ubicadas en un extremo del cuerpo. Por tanto, la concha tiene poco valor taxonómico. Para la identificación se tiene en cuenta el par de proyecciones en forma de plumas (paletas), que se encuentran en el extremo de los sifones. Con base en la diferenciación en la forma de las paletas se han identificado dos géneros, a saber, <i>Teredo</i> y <i>Bankia</i> .
Gastropoda	Neritidae	<i>Neritina</i> Lamarck 1816	<i>Neritina</i> <i>virginea</i>	Concha globosa de tamaño pequeña (<20 mm), lisa y brillante; coloración muy variable. El color de fondo varía con el tipo de hábitat desde tonos negros, marrón, verde, rojo, ocre hasta blanco, con manchas contrastantes oblicuas, puntos, líneas o bandas espirales. La columnela es amarillenta o naranja; opérculo liso, negro y calcáreo.
	Hydrobiidae	<i>Potamopyrgus</i> Stimpson 1865	<i>Potamopyrgus</i> sp.	Concha pequeña (<5mm), cónica-ovalada, de giros globosos, delgada, translúcida, opérculo córneo. La voluta del cuerpo es mayor que las de la espira, ornamentada a modo de corona. Este género es endémico del sureste de Australia y Nueva Zelanda, pero ha invadido todo el mundo. <i>P. coronatus</i> y <i>P. antipodarum</i> han sido reportadas en varias localidades del Caribe (http://www.discoverlife.org).
		<i>Pyrgophorus</i> Ancey 1888	<i>Pyrgophorus</i> sp.	Concha muy pequeña, turriforme-ovalada, de giros convexos, el último particularmente grande. [Durante la etapa de edición final de este capítulo, Nava et al. (2011) publicaron la sistemática y la distribución de <i>Pyrgophorus platyrachis</i> del Lago Maracaibo, encontrando fenotipos de concha lisa, carinada o con espinas, estos últimos frecuentemente confundidos con <i>Potamopyrgus</i>].
	Littorinidae	<i>Littoraria</i> Férussac 1822	<i>Littoraria</i> <i>angulifera</i>	Concha de tamaño mediano; globular-cónica; con surcos espirales muy delgados; color de fondo ocre, naranjado o amarillo con manchas axiales marrón. Opérculo de calcita.

El bivalvo *Mytilopsis* cf. *sallei* tuvo una amplia distribución, lo que sugiere una gran resistencia a amplias variaciones de la salinidad (figura 6.3). *Brachidontes* cf. *exustus*. (figura 6.4), *Crassostrea rhizophorae* (figura 6.5) y *Neritina virginea* (figura 6.6), estuvieron confinadas al sector sur del Golfo, pero también exhibieron una amplia tolerancia a la salinidad; ya que en este sector varió ampliamente entre 0,1–25,9 ups. *Potamopyrgus* sp. presentó una distribución asociada a salinidades bajas y poco variables (figura 6.7).

El ensamble de moluscos observado en el Golfo durante el periodo de estudio (junio-agosto) fue pobre, dominado numéricamente por los mejillones *Myti-*

opsis y *Brachidontes*, con abundancias totales de 33115 y 35861, respectivamente. La ostra *Crassostrea rhizophorae* (533 individuos) y el gasterópodo *Neritina virginea* (359 individuos), fueron moderadamente abundantes. El gasterópodo *Potamopyrgus* sp. (62 individuos) fue poco abundante, mientras que otros (*Littoraria angulifera* y *Pyrgophorus* sp.) estuvieron representados por un sólo individuo.

La pobreza en número de especies de moluscos asociados a las raíces de *R. mangle* en el golfo de Urabá, observada durante el periodo de estudio, fue similar a la obtenida por Rojas y Palacio (2003), quienes encontraron 6 especies (incluyendo al gasterópodo *Thais coronata trinitatensis*); pero su muestreo estuvo restringido al litoral antioqueño.

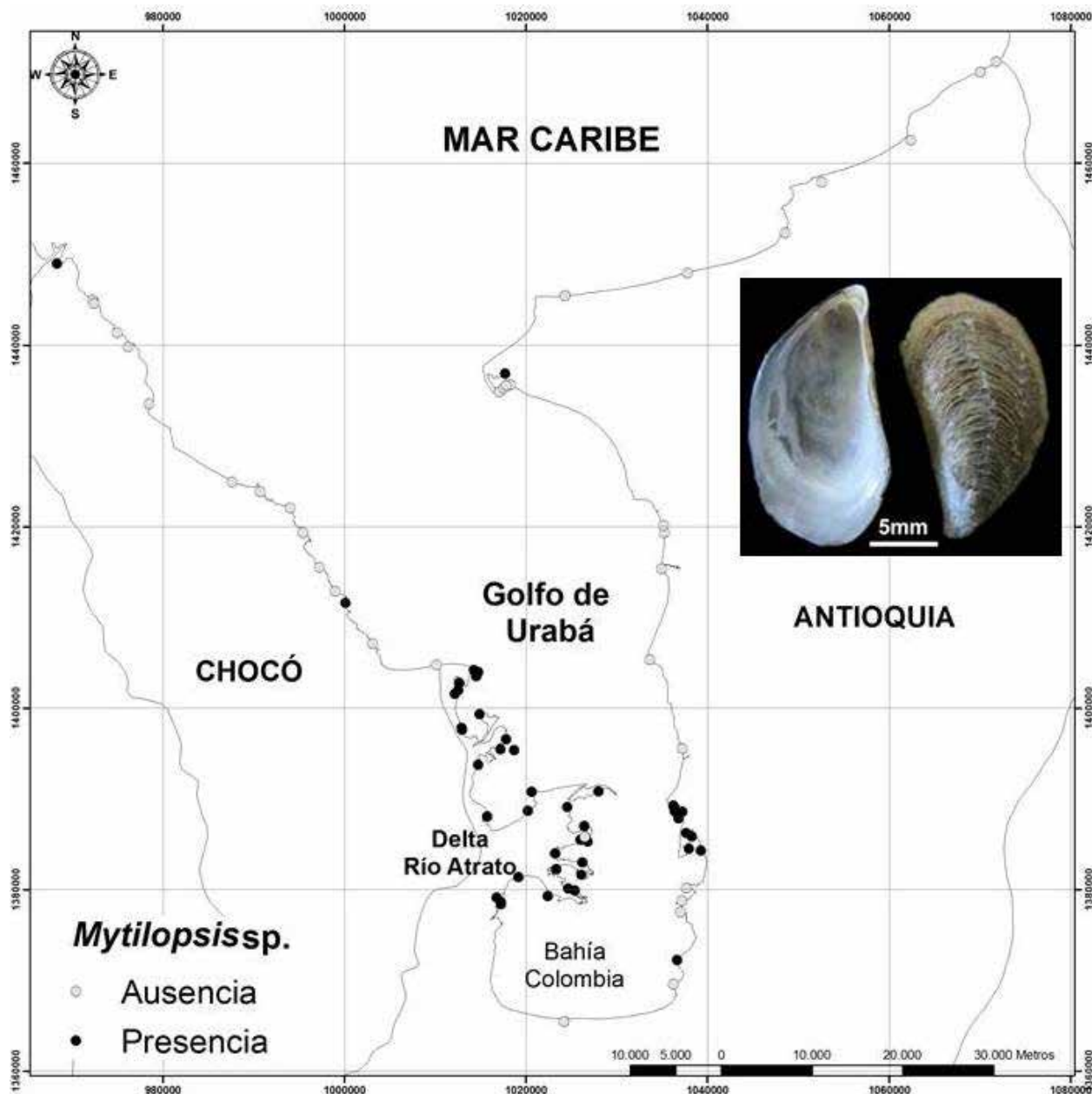


Figura 6.3. Distribución de *Mytilopsis* sp. en el golfo de Urabá.

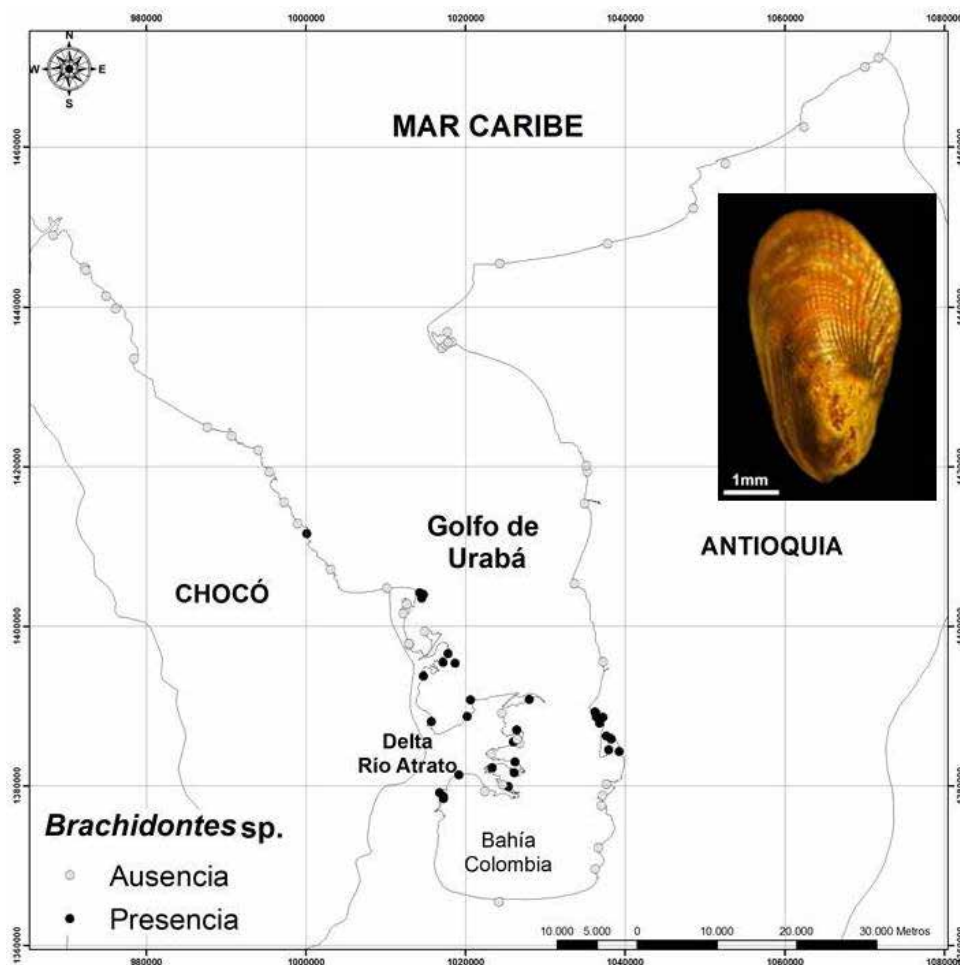


Figura 6.4. Distribución de *Brachidontes sp.* en el golfo de Urabá.

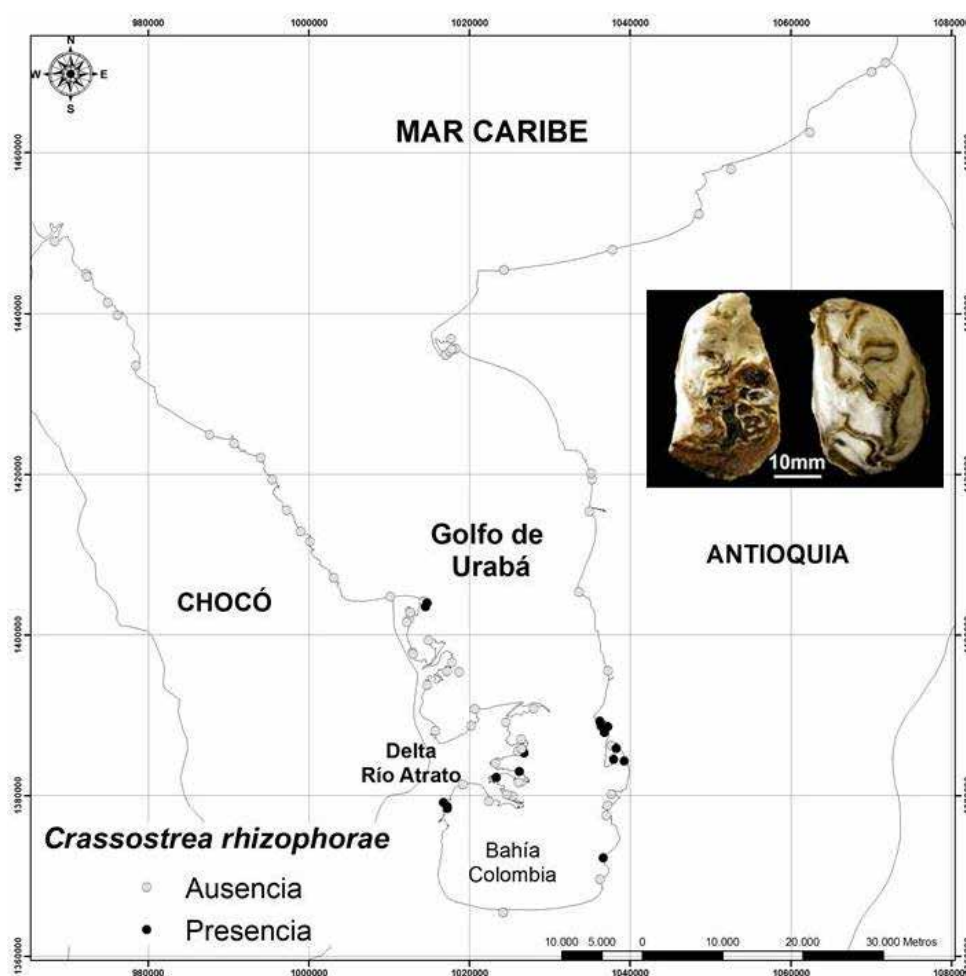


Figura 6.5. Distribución de *Crassostrea rhizophorae* en el golfo de Urabá.

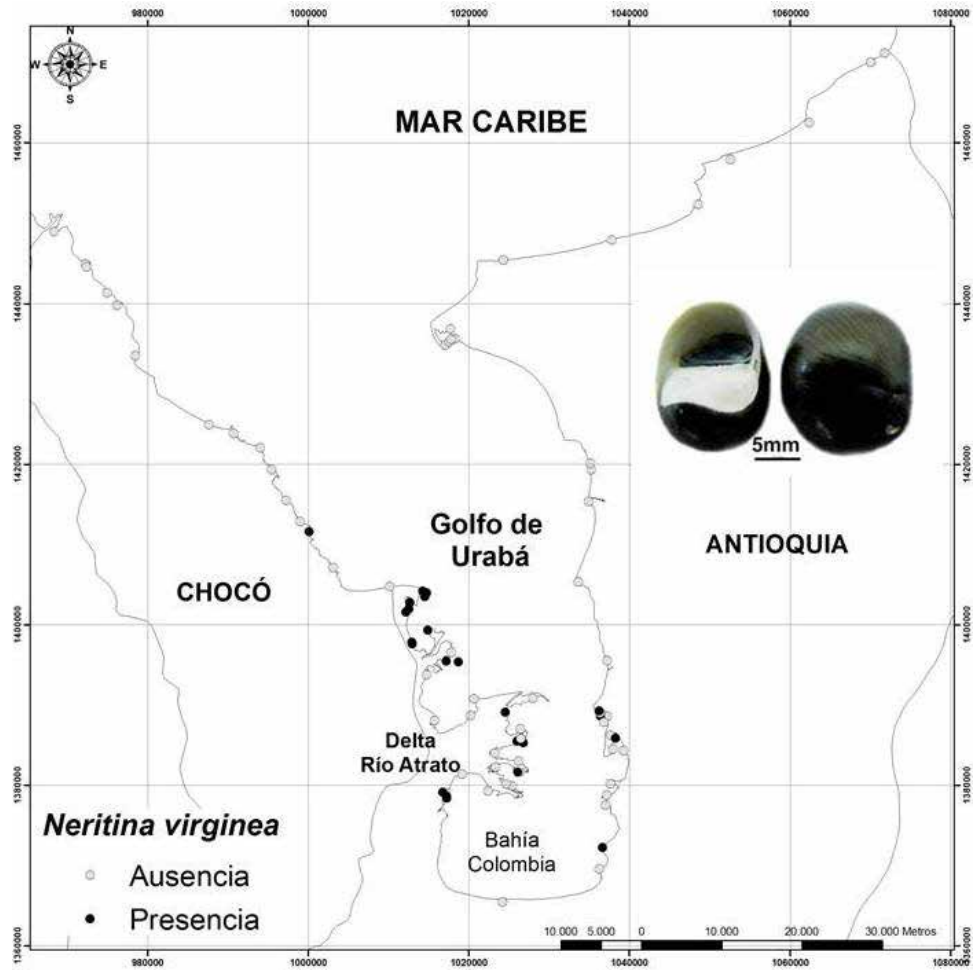


Figura 6.6. Distribución de *Neritina virginea* en el golfo de Urabá.

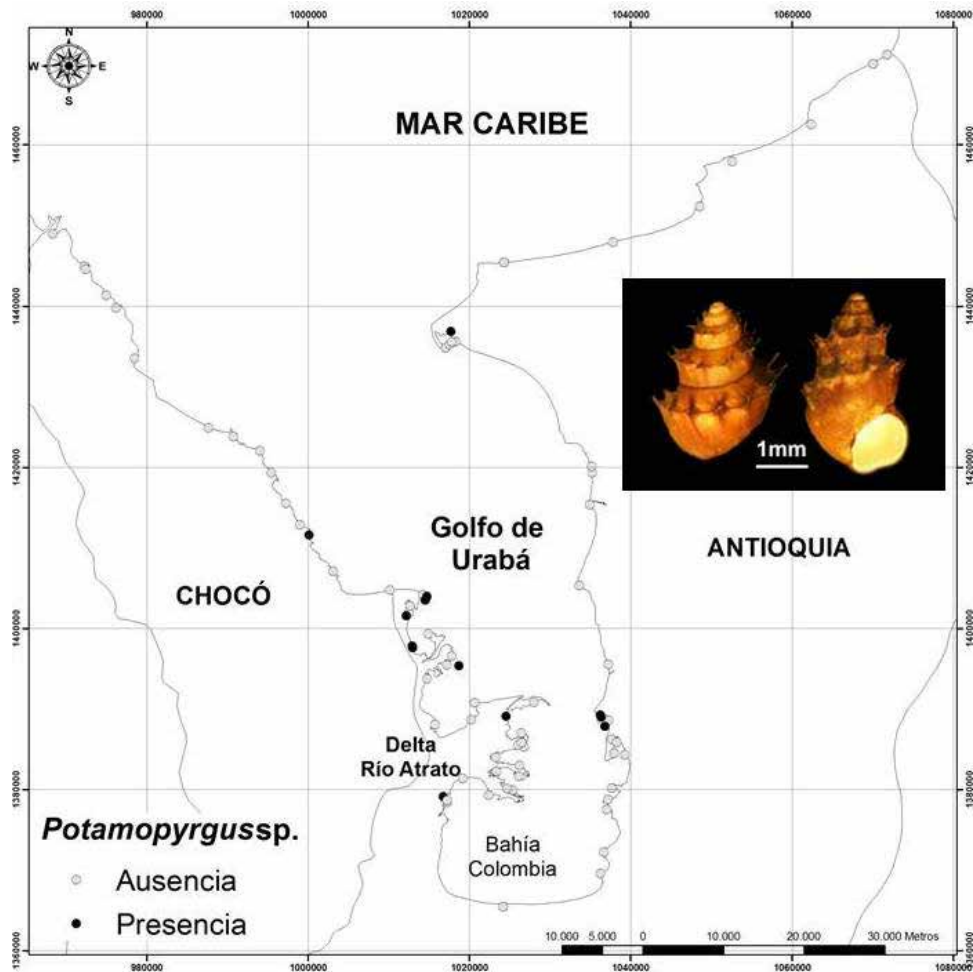


Figura 6.7. Distribución de *Potamopyrgus* sp. en el golfo de Urabá

Otros trabajos realizados en áreas específicas del Golfo pero durante un período de tiempo mayor, han encontrado un mayor número de especies (bahías El Uno y Turbo: García y Correa, 2006; 14 y 11 especies, respectivamente; bahía Marirrí: Llano y Palacio, 1988; 12 especies). Aunque un muestreo más extenso a lo largo del año aumentaría la probabilidad de registrar especies adicionales, aún se puede hipotetizar que el Golfo es pobre en especies, tal y como se discutirá en el capítulo 9. Esto es evidente cuando se considera la inequitativa distribución de la abundancia entre especies. Las abundancias relativas acumuladas para todo el Golfo mostraron que el 94% del total de individuos correspondió a *Mytilopsis* y *Brachidontes*.

Con respecto a los patrones espaciales, la abundancia total de epibiontes por área geográfica fluctuó entre 0–25447. En general las mayores abundancias se registraron en el delta del río Atrato, presentándose las mayores en bahía Cocogrande (25447) y bahía Burrera (18167). Las áreas con valores intermedios dentro del Delta

fueron las bahías El Rotico (1197), Candelaria (1542), La Paila (6126), y Marirrí (3061). Sobre la costa oriental del Golfo, bahía Turbo también presentó una gran abundancia (8168), pero al norte se presentaron menores abundancias (bahía El Uno: 2373; ensenada de Rionegro: 2819). Al sur, punta Coquito y Suriquí presentaron abundancias extremadamente bajas (31 y 57, respectivamente). No se recolectaron individuos en río León, La Martina, Caimán Viejo, Caimán Nuevo, quebrada La Cartagenita, y los ríos Zapata, Damaquiel y Volcán (figura 6.8).

En la tabla 6.2 se resumen los grupos formados con base en la presencia o ausencia de las especies a través de un análisis de clasificación (dendrograma). En el sector sur del Golfo las raíces de los mangles presentaron una mezcla de especies: *Mytilopsis* sp., *Brachidontes* sp., *Crassotrea rhizophorae*, *Neritina virginea*, *Potamopyrgus* sp. y la familia Teredinidae. La ensenada de Rionegro se separó del sector sur, por presentar solamente a *Mytilopsis* sp. y *Potamopyrgus* sp.

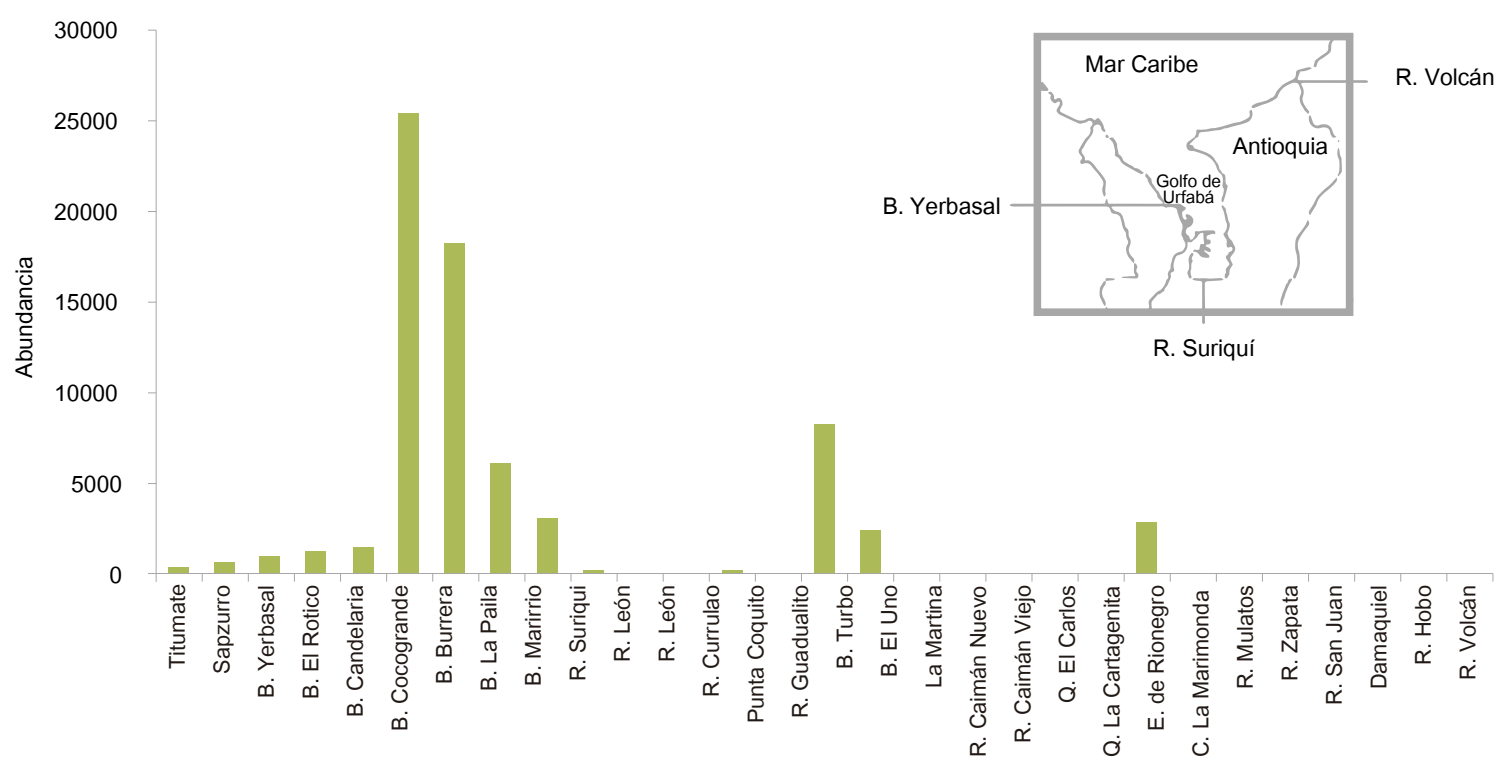


Figura 6.8. Abundancias totales de los moluscos asociados a las raíces en el golfo de Urabá. Nótese la linealización del litoral antioqueño.

Tabla 6.2. Clasificación espacial de las especies de moluscos por sector en el golfo de Urabá.

SECTOR SUR	SECTOR NORTE
<i>Mytilopsis</i> sp.	<i>Mytilopsis</i> sp.
<i>Brachidontes</i> sp.	<i>Potamopyrgus</i> sp.
<i>Crassostrea rhizophorae</i>	
<i>Neritina virginea</i>	
<i>Potamopyrgus</i> sp.	
Familia Teredinidae	

Tabla 6.3. Resultados de la regresión lineal no paramétrica (coeficiente de correlación, coeficiente de determinación, prueba estadística y el valor de significancia), entre la abundancia de individuos de cada especie y la salinidad.

Especies	R	R ²	t(N-2)	Valor p
<i>Mytilopsis</i> sp.	0,14	0,02	0,98	0,33
<i>Brachidontes</i> sp.	0,24	0,06	1,69	0,10
<i>C. rhizophorae</i>	0,31	0,09	2,21	0,03
<i>N. virginea</i>	0,40	0,16	-2,96	0,01
<i>Potamopyrgus</i> sp.	0,12	0,01	-0,84	0,41

La salinidad como factor controlador

En la tabla 6.3 se muestran los resultados de la regresión lineal no paramétrica (los datos no se distribuyeron normalmente). La abundancia de *Brachidontes* sp., *Mytilopsis* sp. y *Potamopyrgus* sp., no estuvo correlacionada con la salinidad; mientras que la de *C. rhizophorae* y *N. virginea* se incrementó con la salinidad.

En la figura 6.9, se caracterizan los rangos de salinidad y la distribución para cada una de las especies de moluscos asociadas a las raíces de *R. mangle* en el golfo de Urabá. Las especies *Mytilopsis* sp. y *Brachidontes* sp. se encontraron en un amplio rango de salinidad (0–30 ups) en todo el Golfo. *C. rhizophorae* y *N. virginea* se hallaron entre 0–20 ups y su abundancia aumentó dentro de dicho rango. Sin embargo, se han encontrado en rangos de distribución más amplios en otras localidades del Caribe colombiano (Pérez y Victoria, 1978; Palacio, 1977, 1983; Reyes y Campos 1992a,b). Adicionalmente, *N. virginea* se ha observado migrando aguas arriba en los ríos de Puerto Rico (Blanco y Scatena, 2006, 2007). Aguas arriba del río Atrato, a unos cientos de metros de la

desembocadura, se han observado individuos de *N. virginea* sobre sustratos duros como madera y construcciones, situadas en los costados del río (observaciones personales). *Potamopyrgus* sp. se presentó en manglares con salinidades más bajas (rango: 0–15 ups).

Tradicionalmente se ha visto a la salinidad como el principal determinante de la distribución de la fauna asociada al manglar. Por ejemplo, en la ciénaga grande de Santa Marta (Palacio, 1977) y la bahía de Cartagena, y la ciénaga Los Vásquez (Pérez y Victoria, 1977), los cambios en la distribución de especies obedecen a los cambios en la salinidad. Sin embargo, los resultados obtenidos para el golfo de Urabá plantean que la comunidad de moluscos asociados a las raíces de *R. mangle*, no guardan una relación estrecha con la variación espacial de la salinidad. Se observó que las dos especies de bivalvos dominantes, *Brachidontes* sp. y *Mytilopsis* sp., eran eurihalinas (tolerantes de un amplio rango de salinidad). Palacio (1983) consideró que el bivalvo *Mytilopsis sallei* desarrollaba poblaciones más grandes en salinidades variables, pero generalmente bajas: observación no compartida para el Golfo, en donde *Mytilopsis* sp. se encontró

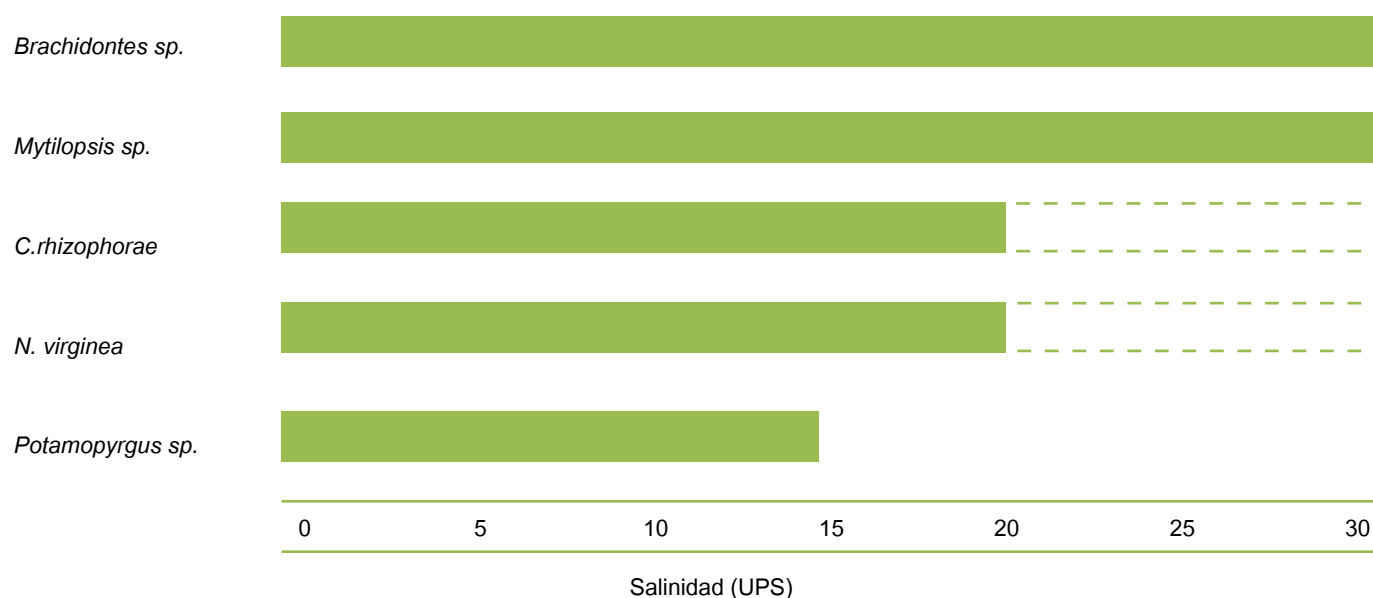


Figura 6.9. Rangos de salinidad (‰) y distribución de cada especie de moluscos asociados a las raíces de *R. mangle*. Las áreas punteadas fueron reconstruidas con base en los reportes de la literatura del Caribe colombiano. (*) Se han reportado migraciones de *N. virginea* aguas arriba en varios ríos del Caribe insular (Blanco y Scatena, 2006, 2007).

abundantemente en un amplio espectro de salinidad. Palacio (1977) observó en los bivalvos *Brachidontes sp.*, *C. rhizophorae* y los gasterópodos *N. virginea* y *L. angulifera*, una gran resistencia a la variación de la salinidad, también considerándolas especies eurihalinas. En el golfo de Urabá, aunque *Crassostrea rhizophorae* y *Neritina virginea* también se encontraron en distintas salinidades dentro del rango oligo-polihalino, y se considerarían eurihalinas, se desconoce por qué presentaron una correlación positiva con la salinidad. *Neritina virginea* tiene un ciclo de vida diádromo (con etapas de desarrollo en los ríos y en el mar), y, por esa razón, también es altamente tolerante a las aguas completamente dulces (limnéticas) (Blanco y Scatena, 2006, 2007). Finalmente, la única especie estenohalina (tolerantes a unas variaciones estrechas de salinidad) dentro del rango oligo-mesohalino, fue el gasterópodo *Potamopyrgus sp.*, y se encontró confinada a la parte sur del Golfo; pero con una distribución al azar donde predominan las salinidades bajas. Esto concuerda con lo observado en lagunas costeras mexicanas (e.g. García-Cubas, et al., 1990).

Las especies de este género son exóticas en los estuarios del Neotrópico y, aparentemente, se han

dispersado desde su origen en Australia y Nueva Zelanda con las aguas de lastre de los barcos.

Otros posibles factores controladores

Engeneral, se considera que la diversidad y distribución de las comunidades de moluscos están asociadas con la variación de ciertos factores ambientales del agua, como salinidad, concentración de oxígeno, temperatura, pH, turbidez, granulometría y materia orgánica del sedimento (Jackson, 1972). Reyes y Campos (1992a,b) observaron en la región de Santa Marta una gran influencia de las variaciones de los parámetros abióticos, que propician la presencia de especies adaptadas a condiciones fluctuantes, y la llegada de otras que se establecen según las condiciones existentes. Sin embargo, en el golfo de Urabá ninguna de las variables físico-químicas del agua estudiadas, además de la salinidad, parece explicar significativamente la distribución espacial de los moluscos.

Las interacciones ecológicas entre especies (competencia y depredación) son factores que también determinan la distribución de la fauna asociada a las raíces (e.g. Farnsworth y Ellison, 1996). Se ha documentado que la dominancia por parte de

una especie es un factor que incide negativamente en la biodiversidad (Sutherland, 1980; Márquez y Jiménez, 2002). En el Golfo la dominancia de los bivalvos *Mytilopsis* sp. y *Brachidontes* sp., influyó en la distribución no equitativa de las especies, y que posiblemente ejercen una competencia inter-específica por espacio y alimento con otros bivalvos (Rojas y Palacio, 2003). En el presente estudio se observó que las abundancias de ambas especies estaban inversamente correlacionadas (datos no mostrados). Esto ha sido observado en zonas intermareales dominadas por mejillones falsos, los cuales tienen características de especies invasoras denso-dependientes, y pueden llegar a ser dominantes excluyendo a otras especies (*M. adamsi*: Salgado-Barragán y Toledano-Granados, 2006; Wangkulangkul y Lhekchim, 2008; *M. trautwineana*: Aldridge et al., 2008; *M. sallei*: Baptiste et al., 2010).

Finalmente, los resultados obtenidos en el Golfo se desvían de la regla del incremento de registros de especies raras, con el incremento del área muestreada; ya que la diversidad y la abundancia no manifestaron una correlación con el tamaño del área de la raíz. Esto se debe posiblemente al alto rigor ambiental que impone la baja salinidad en el Golfo, y a la dominancia de algunas especies de mitiliformes (e.g. *Mytilopsis* sp. y *Brachidontes* sp.), las cuales colonizan rápidamente los espacios disponibles, independientemente de su área (Palacio, 1983; Lalana et al., 1985). De hecho, se encontraron sitios en los que dominaron miles de individuos muy pequeños (<2 mm) de *Mytilopsis* sp. y *Brachidontes* sp., lo que sugiere que el reclutamiento y la historia de vida temprana son factores a tener en cuenta para la estructuración de las comunidades (Márquez y Jiménez, 2000). No se descarta que la estructura de las comunidades compuestas por individuos adultos, sea el resultado de un efecto fundador, de prioridad o lotería, en el cual la composición final de la comunidad depende de las especies de las larvas y reclutas que se asientan primero (Sutherland, 1980; Romero, 2004; Prüssman, 2005). Ahora bien, el hecho de que las raíces se encontraran sin epibiontes en muchas áreas geográficas, particularmente en el sector norte y el mar Caribe, sugiere que la frecuencia de

disturbios como los mares de leva, originados por los vientos Alisios del noreste, es alta (ver capítulo 3). En el sector sur no se descarta la ocurrencia de tales disturbios pero originados por sistemas de vientos locales (ver capítulo 3), a pesar de que posiblemente sea más importante el rigor ambiental impuesto por la baja salinidad. Aunque no se cuantificó, el disturbio antropogénico derivado por la deforestación de los manglares, también podría ser una explicación para la ausencia de moluscos en algunas áreas de la costa oriental del golfo y el Caribe antioqueño (ver capítulo 4), tal como se ha demostrado recientemente con gasterópodos del suelo y trepadores de substratos duros del manglar (Ortiz y Blanco, 2012; Blanco y Castaño, 2012).

La epifauna del golfo dentro del contexto de la región Caribe

La alta dominancia de falsos mejillones, la baja riqueza de moluscos y la ocurrencia de especies predominantemente estuarinas, ampliamente distribuidas y observadas en la epifauna asociada a las raíces de los manglares del golfo de Urabá, difieren de lo predominante en el resto del Caribe colombiano. Estas características podrían explicarse por las particularidades hidrológicas y oceanográficas del Golfo, tales como el gran aporte de agua dulce por parte del río Atrato, y un oleaje predominante en dirección norte-sur (ver capítulo 3) y que causa un represamiento de dicho caudal (García-Valencia, 2007). Se ha planteado que los manglares influenciados por ríos, aguas lluvias, escorrentías y el agua de mar, tiene una fauna propia (Reyes y Campos, 1992a,b). En aquéllos pueden existir condiciones muy variables (e.g. extremos de salinidad modulados por el aporte de caudal): por tanto los organismos que logran asentarse y desarrollarse exitosamente, están adaptados morfológica, fisiológica o conductualmente para tolerar o evitar el estrés fisiológico, asociado con dichas variaciones (Márquez y Jiménez, 2002; Reyes y Campos, 1992).

Al comparar el golfo de Urabá con otras zonas estuarinas del Caribe colombiano, se observaron algunos patrones biogeográficos claros que son abordados en profundidad en el capítulo 9.

La epifauna del Golfo presentó una riqueza similar a la del golfo de Morrosquillo, en la ciénaga La Boquilla (Quinceno, 2000; Prüssman, 2005), pero fue menor y difirió en composición respecto de otras zonas más al norte, como la bahía de Cartagena y la ciénaga Los Vásquez (Victoria y Pérez, 1979), la ciénaga grande de Santa Marta y el Parque Nacional Natural Tayrona (Cosel, 1973,1986; Palacio, 1983; Díaz, 1994; Reyes y Campos, 1992a,b). Asimismo, los moluscos epibiontes (y macroinvertebrados en general) del Golfo difieren en composición de especies con respecto a otras zonas polihalinas o euhalinas (no estuarinas), como las del archipiélago de San Andrés y Providencia; las cuales también presentan una riqueza mayor (Vilardy y Polanía, 2002; Moreno, 2002; Romero, 2004). En estas áreas insulares oceánicas también se observa una fauna endémica (Londoño-Mesa, et al., 2002; Moreno, 2002; Vilardy y Polanía, 2002). Ahora bien, es importante

mencionar que muchas de las especies de moluscos mencionadas en la literatura, como especies típicamente asociadas a las raíces *R. mangle* en el Caribe colombiano (Reyes y Campos, 1992a,b; Díaz, 1994; Quinceno, 2000; Prüssman, 2005), tales como *Neritina fulgurans*, *Crepidula convexa*, *Melongena melongena*, *Lopha frons*, *Diastoma varium*, *Batillaria minima*, *Isognomon bicolor* y *Isognomon alatus*, no se encontraron en el golfo de Urabá en el presente estudio: posiblemente porque la baja salinidad impide su dispersión y colonización. Otras especies como *Melampus coffeus*, *Littorinopsis angulifera*, *Littorina ziczac*, *Thais* sp. y *Nerita* sp., se observaron presentes en el Golfo, adheridas a otros sustratos duros (rocas, troncos en descomposición en bermas de playas y sobre troncos de manglar), o en el interior del manglar, pero no en las muestras de raíces colectadas; lo cual da cuenta de su baja abundancia o distribución accidental.

CONCLUSIONES

La comunidad de moluscos asociadas a las raíces de *R. mangle* en el Golfo, observada durante el periodo de estudio (Junio-Agosto), fue pobre, dominada por los bivalvos *Mytilopsis* sp. y *Brachidontes* sp. La dominancia de estas especies parece incidir negativamente sobre la riqueza de la fauna asociada a las raíces, por medio de la exclusión competitiva generada por la rápida monopolización del espacio.

El golfo de Urabá podría considerarse un gran estuario ya que, en general, las especies de moluscos

observadas (entre ellas los falsos mejillones) son de carácter eurihalino, adaptadas para soportar salinidades bajas pero ocasionalmente con amplias variaciones. Las diferencias observadas en la estructura de los moluscos epibiontes (alta dominancia y baja riqueza y predominancia de especies eurihalinas) del Golfo, con respecto al resto del Caribe, pueden deberse al rigor ambiental (estrés fisiológico) y al alto régimen de disturbios naturales, y antropogénicos, como la deforestación del manglar en algunas áreas geográficas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Harold Cortés por su apoyo en las actividades de campo, y a David Mazo y Verónica Meneses por colaborar en el muestreo y la separación de los organismos de las raíces. Se agradece a los miembros del *Concejo Comunitario de Bocas del Atrato* por permitirnos el acceso a su territorio colectivo,

por apoyar la logística del trabajo de campo y por su hospitalidad. También se agradece a los *Concejos Comunitario del río Acandí y Chocó* norte, y del Chocó centro, por permitirnos el acceso a su territorio colectivo y permitirnos hacer observaciones cualitativas. Andrés Estrada apoyó la elaboración de los mapas.

REFERENCIAS

- Abbott R. 1974. *American seashells*. Van Nostrand, Reinhold, Nueva York, Estados Unidos.
- Aldridge DC, Salazar M, Serna A, Cock J. 2008. *Density-dependent effects of a new invasive mussel, Mytilopsis trautwineana (Tryon 1866), on shrimp, Litopenaeus vannamei (Boone 1931), aquaculture in Colombia*. *Aquaculture*, 281:34–42.
- Baptiste MP, Castaño N, Cárdenas D, Gutiérrez FP, Gil DL, Lasso CA (eds.). 2010. *Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies introducidas para Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia.
- Batista VE. 1980. *Estudio de las comunidades que habitan las raíces del mangle rojo Rhizophora mangle de punta Galeta, Costa Atlántica de Panamá*. Tesis de Pregrado. Fundación Universidad Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia.
- Blanco JF. 1995. *La malacofauna epibentónica como indicadora de condiciones naturales y de tensión en manglares del Pacífico Colombiano*. Tesis de Pregrado. Departamento de Biología. Universidad del Valle.
- Blanco JF, Scatena FN. 2006. *Hierarchical contribution of river-ocean connectivity, water chemistry, hydraulics, and substrate to the distribution of diadromous snails in Puerto Rican streams*. *Journal of the North American Benthological Society*, 25:82–98.
- Blanco JF, Scatena FN. 2007. *The spatial arrangement of Neritina virginea (Gastropoda: Neritidae) during upstream migration in a split-channel reach*. *River Research and Applications*, 23:235–245.
- Blanco JF, Castaño MC. 2012. *Efecto de la conversión del manglar a potrero sobre la densidad y tallas de dos gasterópodos en el delta del río Turbo (golfo de Urabá, Caribe colombiano)*. *Revista de Biología Tropical*, 60:1707–1719.
- Caicedo-Lara M, Ramírez-Serna LS, Sanjuan AM, Lecompte-Pérez OP, Cadavid LE. 1992. *Inventario sistemático y análisis cuantitativo de los invertebrados asociados a las raíces de mangle rojo (Rhizophora mangle) en la ciénaga de Cocoliso (PNNCR)*. En: Comisión Colombiana del Océano (CCO) (ed.). *Memorias del VIII Seminario de Ciencias y Tecnologías del Mar, Santafé de Bogotá (Resumen)*.
- Cantera, JR, Arnaud PM, Thomassin BA. 1983. *Biogeographic and ecological remarks on molluscan distribution in mangrove biotopes: gastropods*. *Journal of Molluscan Studies*, 12: 10–26.
- Cantera JR. 1991a. *Etude structurale des mangroves et des peuplements littoraux des deux baies du Pacifique Colombien (Malaga et Buenaventura)*. Rapport avec les conditions du milieu et les perturbations anthropiques. Tesis de Doctorado. Université d'Aix-Marseille II. Marsella, Francia.
- Cantera JR. 1991b. *Efectos de las perturbaciones naturales y antropogénicas sobre las comunidades litorales de la Costa Pacífica del Valle del Cauca*. Pp: 140–158. En: INCIVA (ed.). *Memorias I Simposio Nacional de fauna del Valle de Cauca*.
- Cantera JR, Arnaud P, Neira R. 1994. *La macrofauna de playas arenosas en las Bahías de Buenaventura y Málaga (Pacífico colombiano): Estructura espacial y dinámica temporal*. *Revista de Ciencias Universidad del Valle* 10: 27–48.
- Cantera, JR, Thomassin BA, Arnaud PM. 1999. *Faunal zonation and assemblages in the Pacific Colombian mangroves*. *Hydrobiologia*, 413:17–33.
- Cantera, JR, Blanco JF. 2001. *The estuary ecosystem of Buenaventura Bay, Colombia*. Pp: 265–280. En: Seeliger U, Kjerfve B (eds.). *Coastal Marine Ecosystems of Latin America*. *Ecological Studies*, vol. 144. Springer. Nueva York. Estados Unidos.
- Cedeño J, Jiménez-Prieto M, Pereda L, Allen T. 2010. *Abundancia y riqueza de moluscos y crustáceos asociados a las raíces sumergidas del mangle rojo (Rhizophora mangle) en la laguna de Bocaripo, Sucre, Venezuela*. *Revista de Biología Tropical*, 58:213–226.

- CORPOURABA (Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá). 2003. *Caracterización y zonificación de los manglares del golfo de Urabá–Departamento de Antioquia*. Proyecto Zonificación y Ordenamiento de los manglares de Urabá. Convenio 201671 FONADE-CORPOURABA. Apartadó, Colombia.
- CORPOURABA. 2005. *Plan de manejo integral de los manglares del golfo de Urabá y mar Caribe antioqueño*. Documento técnico de soporte. CORPOURABA-Municipio de Turbo-Consejo Comunitario de Bocas del Atrato y Leoncito. Apartadó, Colombia. [Publicado como folleto en 2006].
- Cosel R. 1973. *Lista preliminar de los moluscos de la ciénaga grande de Santa Marta (Colombia)*. Anales del Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas de Punta de Betín, 7:47–56.
- Cosel R. 1986. *Moluscos de la región de la ciénaga Grande de Santa Marta (Costa del Caribe de Colombia)*. Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta de Betín, 15–16:79–370.
- Cruz RA, Jiménez A. 1994. *Moluscos asociados a las raíces de mangle de la costa Pacífica de América Central: Guía*. Editorial Fundación UNA. San José, Costa Rica.
- Díaz JM. 1994. *La malacofauna de la zona costera de Santa Marta y el Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe Colombiano*. Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín, 23:15–43.
- Díaz JM. 1995. *Zoogeography of marine gastropod in the Southern Caribbean: A new look at Provinciality*. Caribbean Journal of Science, 31:104–121.
- Díaz JM, Cantera JR, Puyana M. 1998. *Estado actual del conocimiento en sistemática de moluscos marinos recientes de Colombia*. Boletín Ecotrópica: Ecosistemas tropicales, 33:15–37.
- Díaz JM, Puyana M. 1994. *Moluscos del Caribe colombiano. Un catálogo ilustrado*. Primera Edición. COLCIENCIAS, Fundación Natura, INVEMAR. Bogotá, Colombia.
- Ellison AM, Farnsworth EJ. 1990. *The ecology of Belizean mangrove-root fouling communities. I. Epibenthic fauna are barrier to isopod attack of red mangrove roots*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 142:91–104.
- Ellison AM, Farnsworth EJ. 1992. *The ecology of Belizean mangrove-root fouling communities: patterns of epibiot distribution and abundance, and effects on root growth*. Hydrobiologia, 247:87–98.
- Ellison AM, Farnsworth EJ, Twilley RR. 1996. *Facultative mutualism between red mangroves and root-fouling sponges in Belizean mangal*. Ecology, 77:2431–2444.
- Escobar J. 1981. *Métodos y posibilidades para el cultivo de la ostra de mangle en el Golfo de Urabá (2)*. Revista Corpourabá (sin datos).
- Farnsworth EJ, Ellison AM. 1996. *Scale-dependent spatial and temporal variability in biogeography of mangrove root epibiont communities*. Ecological Monographs, 66:45–66.
- García JM, Correa JD. 2006. *Macroinvertebrados y peces asociados a las raíces sumergidas del mangle rojo (Rhizophora mangle) en las bahías Turbo y El Uno, Golfo de Urabá (Caribe colombiano)*. Tesis de Pregrado. Programa de Ecología de Zonas Costeras. Corporación Académica Ambiental, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia. [Publicado como: García, J.M. & J. Palacio. 2008. *Macroinvertebrados asociados a las raíces sumergidas del mangle rojo (Rhizophora mangle) en las bahías Turbo y El Uno, golfo de Urabá (Caribe Colombiano)*. Gestión y Ambiente, 11:55–66].
- García- Cubas A, Escobar F, González LV, Reguero M. 1990. *Moluscos de la Laguna Mecoacán, Tabasco, México*. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, 17:1–30.
- 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 de INVEMAR N° 12. Santa Marta, Colombia.
- Hogarth PJ. 2007. *The biology of mangroves and seagrasses*. Segunda Edición. Oxford University Press. Nueva York, Estados Unidos.
- Jackson J. 1972. *The ecology of mollusks of Thalassia communities, Jamaica*. West Indies. II. Molluscan population variability along an environmental stress gradient. Marine Biology, 14:304–337.
- Keen AM. 1971. *Sea shells of tropical West America: Marine mollusk from baja California to Peru, Segunda edición*. Stanford University Press. California, Estados Unidos.

- Kenneth RW. 2000. *The encyclopedia of shells*. Chartwell Books.
- Lalana R, Alvarez M, Ortiz M, Pérez M, Veledo T. 1985. *Organismos asociados a las raíces de mangle *Rhizophora mangle* L., en la laguna costera "El Ciego"*. Revista de Investigaciones Marinas 6:59–71.
- Llano R, Palacio J. 1988. *Ecología de la fauna asociada a raíces de mangle *Rhizophora mangle* en la bahía de Marirío, Urabá*. Tesis de Pregrado. Instituto de Biología, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. [Esta investigación reposa en la Biblioteca Central de la Universidad de Antioquia como tesis de grado del primer autor y como informe técnico del segundo].
- Leyton LM, Delgado F, Miranda D. 1992. *Fauna asociada a las raíces de manglar en el golfo de Morrosquillo*. En: Comisión Colombiana del Océano (CCO) (ed.). *Memorias del VIII Seminario de Ciencias y Tecnologías del Mar*, Santafé de Bogotá (Resumen).
- Londoño-Mesa M, Polanía J, Vélez I. 2002. *Polychaetes of the mangrove-fouling community at the Colombian Archipelago of San Andrés and Old Providence, Western Caribbean*. Wetland Ecology and Management, 10:227–232.
- Lucero CH, Cantera JR, Romero IC. 2006. *Variability of macrobenthic assemblages under abnormal climatic conditions in a small-scale tropical estuary*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 68:17–26.
- Nava M, Severeyn H, Machado N. 2011. *Distribución y taxonomía de *Pyrgophorus platyrachis* (Caenogastropoda: Hydrobiidae), en el Sistema de Maracaibo, Venezuela*. Revista de Biología Tropical, 59:1165–1172.
- Márquez B, Jiménez M. 2002. *Moluscos asociados a las raíces sumergidas del mangle rojo *Rhizophora mangle*, en el Golfo de Santa Fe, Estado Sucre, Venezuela*. Revista de Biología Tropical 50:1101–1112.
- Moreno, P.A. 2002. *Taxocenosis Anellida-Mollusca-Crustacea asociada a las raíces sumergidas de *Rhizophora mangle* en San Andrés Isla, Caribe Colombiano*. Tesis de Pregrado. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia.
- Ortiz LF, Blanco JF. 2012. *Distribución de los gasterópodos del manglar, *Neritina virginea* (Neritidae) y *Littoraria angulifera* (Littorinidae) en la Ecorregión Darién, Caribe colombiano*. Revista de Biología Tropical, 60:219–232.
- Palacio J. 1977. *Invertebrados del área estuárica de la ciénaga Grande de Santa Marta con énfasis en la fauna acompañante de *Crassostrea rhizophorae**. Tesis de Pregrado. Instituto de Biología, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. [Publicado como: Palacio J. 1978. *Variación de la fauna de invertebrados del área estuárica de la ciénaga Grande de Santa Marta en relación con los cambios de salinidad*. Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín 10:111–126].
- Palacio J. 1983. *Die benthische makroinvertebratenfauna der tropischen asturarregion ciénaga Grande de Santa Marta (Kolumbien) und ihre aktivitat im wechsel zwischen trocken- und regenzeit*. Tesis de Doctorado en Recursos Naturales. Universidad de Bochum, Alemania.
- Perdomo C. 1973. *Contribución al conocimiento bioecológico de la ostra perlífera *Pinctada radiata* (Leach 1814) en la bahía de Santa Marta*. Tesis de Pregrado. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia.
- Pérez ME, Victoria CH. 1977. *Diversidad y macrofauna de la comunidad de las raíces sumergidas del mangle rojo en la bahía de Cartagena y la ciénaga de los Vásquez*. Tesis de Pregrado. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia.
- Pérez ME, Victoria CH. 1978. *Algunos aspectos de la comunidad asociada a las raíces sumergidas del mangle rojo en dos áreas del Caribe colombiano*. En: UNESCO-UNIVERSIDAD DEL VALLE (eds.). *Memorias del seminario Estudio científico e impacto humano en el ecosistema de manglares*.
- Plaziat JC. 1984. *Mollusk distribution in the mangal*. En: Por FD, Dor I (eds.). *Hidrology of the mangal*. Dr. Junk Publishers. La Haya, Holanda.
- Ponder WF, Lindberg DR. 2008. *Phylogeny and evolution of the mollusk*. University of California Press.
- Prahl H, Cantera JR, Contreras R. 1990. *Manglares y hombres del Pacífico*. Fondo FEN. Editorial Presencia. Bogotá, Colombia.

- Proffitt CE, Devlin DJ. 2005. *Grazing by the intertidal gastropod Melampus coffeus greatly increases mangrove leaf litter degradation rates*. Marine Ecology Progress Series 296:209–218.
- Prüssman J. 2005. *Colonización de moluscos y crustáceos en raíces de mangle rojo en la laguna de La Boquilla, punta norte del golfo de Morrosquillo*. Tesis de Pregrado. Instituto de Biología, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. [Publicado como: Prüssman J, Palacio J. 2008. *Colonización de moluscos y crustáceos en raíces de mangle rojo en una laguna costera de la punta norte del golfo de Morrosquillo*. Gestión y Ambiente, 11:77–86].
- Quiceno, P. 2000. *Macroinvertebrados asociados a las raíces de Rhizophora mangle en la ciénaga de La Boquilla municipio de San Onofre, Sucre*. Tesis de Pregrado. Instituto de Biología, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. [Publicado como: Quiceno P, Palacio J. 2008. *Aporte al conocimiento de los macroinvertebrados asociados a las raíces del mangle Rhizophora mangle en la ciénaga La Boquilla, municipio de San Onofre, Sucre*. Gestión y Ambiente, 11:67–78].
- Reyes R, Campos N. 1992a. *Macroinvertebrados colonizadores de raíces de Rhizophora mangle en la bahía de Chengue, Caribe colombiano*. Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín, 21:101–116.
- Reyes R, Campos N. 1992b. *Moluscos, anélidos y crustáceos asociados a las raíces de Rhizophora mangle Linnaeus, en la región de Santa Marta, Caribe colombiano*. Caldasia 17:133–148.
- Rojas LJ, Palacio J. 2003. *Contribuciones al conocimiento de la fauna de macroinvertebrados asociados a las raíces del manglar en el golfo de Urabá*. Tesis de Pregrado. Instituto de Biología, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- Román-Valencia C. 1991. *Inventario preliminar acerca de la macrofauna asociada a las raíces del mangle en el golfo de Urabá, Caribe colombiano*. Informe final de actividades, contrato No. 0007. CORPOURABÁ, División de Recursos Hidrobiológicos (CIMUR). Apartadó, Colombia.
- Romero P. 2004. *Composición taxonómica y proceso sucesional de la fauna asociada a las raíces sumergidas de Rhizophora mangle de San Andrés Isla*. Tesis de Pregrado. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia. [Publicado como: Romero-Murillo P, Polanía. 2008. *Sucesión temprana de la taxocenosis Mollusca-Annelida-Crustacea en raíces sumergidas de mangle rojo en San Andrés Isla, Caribe colombiano*. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 43:63–74].
- Salgado-Barragán J, Toledano-Granados A. 2006. *The false mussel Mytilopsis adamsi Morrison, 1946 (Mollusca: Bivalvia: Dreissenidae) in the Pacific waters of Mexico: a case of biological invasion*. Hydrobiologia, 56:1–7.
- Sutherland JP. 1980. *Dynamics of the epibenthic community on roots of the mangrove Rhizophora mangle, at bahía de Buche, Venezuela*. Marine Biology, 58:75–84.
- Twilley RR. 1998. *Mangrove wetlands*. En: Messina MG, Conner WH (eds.). *Southern Forested Wetlands: Ecology and Management*. Lewis Publishers.
- Vermeij GJ. 1971. *Mollusk in mangrove swamps: Physiognomy, diversity and regional differences*. Systematic Zoology, 22:609–624.
- Victoria CH, Pérez M. 1979. *Los taxa Annelida-Mollusca-Crustacea en las raíces sumergidas del mangle rojo en dos áreas costeras del Caribe Colombiano*. Informe del Museo del Mar, 21:1–27.
- Vilardy S, Polanía J. 2002. *Mollusk-fauna of the mangrove root-fouling community at the Colombian Archipelago of San Andrés and Old Providence*. Wetland Ecology and Management, 10:273–282.
- Wangkulangkul K, Lheknim V. 2008. *The occurrence of an invasive alien mussel Mytilopsis adamsi Morrison, 1946 (Bivalvia: Dreissenidae) in estuaries and lagoons of the lower south of the Gulf of Thailand with comments on their establishment*. Aquatic Invasion, 3:325–330.

NOTA: Durante el primer proceso de edición en 2011 de este capítulo se encontraron las referencias de las siguientes tesis, pero no fueron consultadas:

Moreno-Ríos C. 2007. *Moluscos y crustáceos asociados a las raíces sumergidas de Rhizophora mangle (Linnaeus, 1753) y su relación frente a la calidad del agua en dos áreas de la bahía de Cispatá, "Ciénagas del Ostional y Navío y Ciénaga de la Soledad" (Córdoba), Caribe Colombiano*. Tesis de Pregrado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia.

Portocarrero M. 2004. *Estudio de la comunidad de moluscos epibiontes sobre raíces sumergidas del mangle rojo (Rhizophora mangle) en Isla Barú. Caribe Colombiano*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Valle A. 2007. *Estructura del bosque de manglar y algunos aspectos sobre la fauna asociada a las raíces de Rhizophora mangle (L., 1773) en la Ciénaga de Cholón, Isla Barú, Municipio de Cartagena, Caribe Colombiano*. Tesis de Pregrado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia.





CAPÍTULO 7

Gusanos marinos de
manglares del golfo de Urabá



Gusanos marinos de manglares del golfo de Urabá

Mario H. Londoño-Mesa^{1,2} y Catalina Arteaga-Flórez^{1,3}

¹Grupo LimnoBasE y Biotamar (Limnología Básica y Experimental y Biología y Taxonomía Marina), Instituto de Biología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Antioquia, Medellín. Antioquia, Colombia.
Calle 70 #52-21. A.A. 1226

²hernan.londono@udea.edu.co; ³takalina85@gmail.com.

Resumen: Los poliquetos son gusanos marinos de gran importancia en el ecosistema de manglar, debido al papel que juegan como fuente importante de alimento para varias especies de peces y crustáceos. También son considerados indicadores biológicos de contaminación ambiental, revelando el estado de conservación o de deterioro, tanto de manglares como de otros ecosistemas. No obstante, pese a estas funciones ecológicas tan importantes, no conocemos cuáles especies están presentes en los manglares de las costas del golfo de Urabá, a causa de la escasez de estudios sistemáticos; los registros existentes de poliquetos proceden de regiones cercanas al Golfo, siendo algunos de estos registros dudosos, puesto que no corresponden a especies del Caribe. En este capítulo se presenta una revisión sistemática de poliquetos asociados a las raíces sumergidas del mangle rojo, *Rhizophora mangle*, en el golfo de Urabá, junto con la distribución de dichas especies en la zona. Con el fin de coleccionar las muestras de gusanos marinos, se recorrió el Golfo dos veces durante el año 2009, en junio y en agosto. El muestreo se realizó haciendo énfasis en las localidades cercanas a las desembocaduras del río Atrato, puesto que allí se identificó el mayor desarrollo de bosques de manglar rojo. Este estudio demostró que los bosques de manglar, en el golfo de Urabá, tienen una diversidad muy baja de poliquetos, identificándose sólo 11 especies, de las cuales, las más comunes pertenecen a gusanos neréididos: un grupo comúnmente usado en estudios de calidad del agua. Concluimos que aún quedan grandes imperfecciones en la identificación taxonómica de algunas especies, debido a la dificultad de identificar especies que pueden ser nuevas para la ciencia.

Abstract: The polychaetous annelids are marine worms with an important role in mangrove ecosystems, because they are a source of food for several animal groups such as fish. They are considered biological indicators of pollutants, revealing conservation stages in mangroves and other ecosystems. Even recognizing this importance, we know very little about the species in the region due to the lack of systematic studies; records on polychaetes belong to surroundings areas near the Gulf or Uraba, being some of those records doubtful, because they do not belong to species from the Caribbean region. This chapter presents a systematic revision of polychaetes associated to red mangrove submerged roots, present in mangrove forest in the Gulf of Uraba. It is also presented the distribution of the species in the region with comments on other close species. Samplings were taken during June and August 2009. Stations were selected taking into account proximities to the Atrato River Delta, due the presence of large mangrove forests. This study revealed that the polychaetes diversity on this ecosystem is low; they were identified 11 species, from which, species belonging to the family Nereididae were the most abundant. It is concluded that the taxonomic identification of species from the region is still doubtful, due to the difficulties identifying species that could be new to science.

INTRODUCCIÓN

Los poliquetos

Los anélidos son un gran grupo de animales conocidos como gusanos segmentados. Dentro de éstos encontramos las lombrices de tierra, las sanguijuelas y los poliquetos, estos últimos técnicamente llamados Polychaeta, que significa "muchas" "setas" o "pelos". Este grupo comprende la mayor parte de la diversidad de los anélidos, encontrándose en casi todos los hábitats marinos, desde zonas intermareales hasta el mar profundo (Rouse y Pleijel, 2001) y en agua dulce, e incluso en ecosistemas terrestres, asociados a zonas con alta humedad en el suelo. Se estima que el número actual de especies es alrededor de 9000, aunque existen ciertos problemas en sus nombres y en distribuciones registradas erróneamente (Rouse y Pleijel, 2001).

Los poliquetos, a pesar de ser uno de los grupos de invertebrados que sobresale por su abundancia y diversidad, y por su papel ecológico y relevancia en el monitoreo de las condiciones ambientales (Laverde-Castillo y Rodríguez-Gómez 1987), han sido poco estudiados en los mares y costas de Colombia, a raíz de la falta de iniciativas de investigación taxonómica dirigidas hacia una estimación real de la biodiversidad del grupo.

Los manglares

Son ecosistemas pantanosos, caracterizados por ubicarse en litorales tropicales de suelo plano y fangoso, y aguas relativamente tranquilas (estuarios, bahías, ensenadas, lagunas costeras, esteros, entre otros). Los bosques de manglar sirven como una interfase entre la tierra y el mar, produciendo altos niveles de nutrientes y proporcionando hábitats para un gran número de invertebrados y vertebrados de importancia comercial que, a su vez, sustentan a las poblaciones humanas (Rutzler y Feller, 1996).

De acuerdo a estas condiciones, no es raro que el golfo de Urabá se caracterice por tener un gran desarrollo en sus manglares, que reciben un significativo aporte de agua dulce por el río Atrato y otros ríos más pequeños, los cuales desembocan en el Golfo. En el delta del río Atrato, el manglar alcanza un gran desarrollo estructural, principalmente de mangle rojo (Sánchez-Páez et al., 1997), siendo comparable ecológicamente con los manglares del Pacífico colombiano (Restrepo, 2002).

Los manglares del golfo de Urabá, compuestos principalmente por mangle rojo, *Rhizophora mangle*, y mangle blanco, *Laguncularia racemosa*, están siendo afectados por diversos problemas fitosanitarios, lo cual se relaciona directamente con la reducción de la biota encontrada en ellos, especialmente de los organismos asociados al mangle rojo, ya que sus raíces sumergidas albergan una gran diversidad de fauna y flora.

Poliquetos y manglares

Dentro de los manglares, los poliquetos forman parte importante de la biota asociada a sus raíces sumergidas, a causa de que son fuente fundamental de alimento para otros animales, como cangrejos y peces. También son indicadores del grado de conservación y/o de contaminación de éstos, por lo cual han sido considerados como la base para diversos estudios ambientales. De esta forma, son usados para determinar contaminantes letales, y como indicadores de los efectos agudos y crónicos de contaminación letal (Salazar-Vallejo et al., 1989). La identificación de la composición de especies de poliquetos en el manglar, nos ayuda a darnos cuenta de aquellas especies que son resistentes al estrés ambiental, así como de la ausencia de aquellas que son susceptibles a tal estrés. Por tanto, el conocimiento de cuáles son estas especies nos ayudará a diagnosticar el estado en el que se encuentran estos bosques en el golfo de Urabá.

ANTECEDENTES

El estudio de los poliquetos en la provincia geográfica del Gran Caribe, se remonta a más de un siglo, cuando Schmarda (1861), Webster (1879) y Ehlers (1887) describen algunas especies de la región (Salazar-Vallejo, 1996). Sin embargo, el conocimiento de estos organismos en Colombia comienza con los reportes de Schmarda (1861, 1 especie) y Augener (1922, 4 especies; 1933a, 14 especies; 1933b, 5 especies; 1934, 11 especies), quienes describen y reportan 35 especies para el Caribe colombiano central, principalmente para Cartagena. Luego, Hartman (1944) reporta 36 especies de poliquetos para el norte del Caribe colombiano, principalmente para la Guajira, Santa Marta y el archipiélago de San Andrés.

No obstante, hubo un periodo de 34 años sin investigación en poliquetos del Caribe colombiano. Estos estudios son reiniciados por colombianos hace 36 años. El primer estudio fue realizado por Palacio (1978), quien incluyó a los poliquetos en su análisis de los invertebrados en raíces de manglar de la ciénaga grande de Santa Marta, identificando 8 especies de poliquetos, de los cuales 4 son del Atlántico occidental, pero sólo 2 son descritas para el Gran Caribe. En el mismo año, Pérez y Victoria (1978) estudiaron los poliquetos asociados a las raíces de mangle rojo en dos áreas de la bahía de Cartagena, identificando 20 especies, de las cuales 12 son del Atlántico occidental, pero sólo 5 son descritas para el Gran Caribe.

Un año más tarde, Rodríguez-Gómez (1979) reportó 20 especies: 12 son del Atlántico occidental, 9 descritas para el Gran Caribe. Estas especies fueron encontradas en fondos duros, en pilotes de muelles y litoral arenoso, en islas del Rosario. No obstante, no hubo alguna descripción taxonómica para identificar las especies. Luego, Dueñas (1981) hizo un inventario de los poliquetos de aguas someras, presentes en bahía de Cartagena. Reportó 17 especies de poliquetos, de las cuales 7 son del Atlántico occidental, y otras 5 son

descritas para el Gran Caribe. Laverde-Castillo y Rodríguez-Gómez (1987) hicieron un listado de las especies reportadas hasta el momento, y agregan importantes notas sobre la distribución de los poliquetos registrados en el Caribe colombiano, aunque no hicieron descripciones de especies. Estos autores presentaron una lista de 133 especies de poliquetos existentes en la región.

Posteriormente, Rodríguez-Gómez (1988) reportó 52 especies de poliquetos presentes en aguas someras de la bahía de Neguange, en el Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT), y Laverde-Castillo (1992) reportó una especie de la familia Eulepethidae en sedimentos blandos de bahía Portete y Santa Marta, Caribe colombiano. Luego, Dueñas (1999) enlistó 145 especies de poliquetos para el Caribe colombiano, ampliando su estudio al noroeste hasta la isla de Providencia, y al sur hasta el golfo de Morrosquillo.

Es importante aclarar que el presente estudio amplió el listado de especies registradas, dejando 7 nuevos registros de familias. Así, este trabajo aumenta en un 36.9% el listado de poliquetos para el Caribe colombiano, aclarando que no se habían realizado buenos muestreos en el área del golfo de Urabá y de Panamá; aunque algunas especies fueron encontradas cerca de la zona del golfo de Urabá (puerto Rey e isla Tortuguilla).

Posteriormente Londoño-Mesa et al. (2002) realizaron una investigación acerca de los poliquetos asociados a las raíces de mangle rojo, en las islas San Andrés y Providencia, donde reportaron 49 especies en 12 familias. Ese mismo año, Moreno (2002) en una investigación realizada en las bahías Hooker y Honda de la isla San Andrés, reportó 9 especies en 8 familias (Cirratulidae, Eunicidae, Lumbrineridae, Nereididae, Sabellidae, Serpulidae, Spionidae y Syllidae), ampliando así el listado de familias y especies de poliquetos en Colombia, particularmente en sus áreas insulares.

Álvarez León y Laverde Castillo (2003) encontraron 24 especies de 16 familias para laguna sur de la bahía Chengue, PNNT. Posteriormente, Romero-Murillo (2004) realizó una lista con 36 especies de 11 familias (Capitellidae, Cirratulidae, Eunicidae, Maldanidae, Nereididae, Opheliidae, Pilargidae, Sabellidae, Serpulidae, Syllidae y Terebellidae), para las bahías Honda y Hooker en la isla San Andrés. Para el golfo de Morrosquillo, Bolaño (2005) reportó 42 géneros de 20 familias, y para la bahía de Gaira, Magdalena, Guzmán-Alvis y Carrasco (2005) reportaron 55 géneros de 23 familias. Finalmente, Guzmán-Alvis et al. (2006) sólo reportaron 38 familias de poliquetos, para el norte del Caribe colombiano, en bahía Portete, Guajira, sin hacer referencia a géneros o especies.

García y Correa (2006) encontraron 3 especies de poliquetos en las bahías Turbo y El Uno, pertenecientes a las familias Nereididae (1) y Serpulidae (2), y adicionalmente encontraron la familia Chaetopteridae, pero sin determinar género y especie. En un estudio de los macroinvertebrados asociados a mangle rojo en la ciénaga La Boquilla (Sucre), Quiceno y Palacio (2008) reportaron organismos de la familia Nereididae, Sabellidae y Serpulidae, donde sólo *Hydroides* sp. (Serpulidae)

y *Sabella* sp. (Sabellidae) fueron identificados. En el mismo año, García y Palacio (2008) realizaron otro estudio acerca de los macroinvertebrados asociados al mangle rojo en las bahías Turbo y El Uno, golfo de Urabá, en el cual reportaron *Nereis* (*Neanthes*) *succinea* y *Nereis* sp. (Nereididae).

Por tanto, para el golfo de Urabá, se han realizado diversos estudios basados principalmente en el estado de conservación de los bosques de manglar, en donde la diversidad de poliquetos es un indicador fundamental para la conservación de los mismos. Sin embargo, pese a la importancia tanto de los manglares como de los poliquetos, no se había hecho algún estudio detallado sobre la composición de los poliquetos asociados a las raíces sumergidas de los manglares, que incluyera información taxonómica valiosa en cuanto a la confirmación de las especies que realmente se presentan en la región. Sólo se han reportado 4 familias de poliquetos en el golfo de Urabá con dicha asociación ecológica: Chaetopteridae, Nereididae, Sabellidae y Serpulidae, donde sólo *Hydroides* (Serpulidae) y *Nereis* (*Neanthes*) *succinea* (Nereididae) fueron identificados, esta última especie actualmente con problemas sistemáticos, llamada por otros autores como *Alitta succinea*.

MÉTODOS

PREMUESTREO

Reconocimiento de los bosques de manglar recorriendo el golfo de Urabá por toda su línea costera



Selección de estaciones y árboles de mangle rojo a muestrear

Embolsado de raíces en bolsas "ziploc" y fijación de las mismas en solución de formol-agua del medio al 10 %

Envío terrestre a Medellín

Almacenamiento de las raíces en neveras y canecas de plástico herméticamente cerradas

MUESTREO

Llegada a la respectiva estación de muestreo correspondiente al delta del río Atrato y bahías Turbo y El Uno



Corte de 5 raíces por estación

Embolsado de raíces en bolsas gruesas y fijación de las mismas en solución de formol - agua del medio al 10 %

Cierre temporal de las bolsas con un alambre o cuerda. Posteriormente sellado al calor de las bolsas



Almacenamiento de canecas de plástico herméticamente cerradas y envío a Medellín

FASE DE LABORATORIO

Sacado de las raíces de las bolsas y lavado con abundante agua para eliminar el exceso de formol

Medición de la longitud y el diámetro de cada raíz para estimar el área aproximada de las mismas

Extracción de la fauna y la flora encontrada en las raíces mediante el uso de pinzas y bisturí

Separación y preservación de la fauna en etanol 70 % y de la flora en formol al 4 %



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el estudio de los poliquetos asociados a las raíces sumergidas del mangle rojo en la región del Urabá antioqueño, se identificaron 5 familias, 8 géneros y 11 especies de poliquetos, las cuales se presentan a continuación. Cada especie se describe morfológicamente, y se hace una discusión comparativa de especies similares de la misma región, o de regiones cercanas del Caribe; igualmente, se comenta la distribución de cada una de ellas tanto en el Urabá antioqueño como en el Caribe colombiano.

Familia Capitellidae Grube, 1862
Género *Capitella* Blainville, 1828
***Capitella capitata* (Fabricius, 1780)**

Figuras 7.1A-D, 7.2.

Diagnosis: Tórax engrosado y abdomen delgado (figura 7.1A, D). Nueve segmentos torácicos. Prostomio redondeado y sin ojos. Faringe evertida ventralmente. Setas presentes desde el primer segmento. Espinas sexuales ventrales en los segmentos 8 y 9. Setas capilares simples (figura 7.1B, C), en los primeros 7 segmentos. Ganchos encapuchados en los segmentos 8 y 9 con 8 dientes en la parte lateral superior.

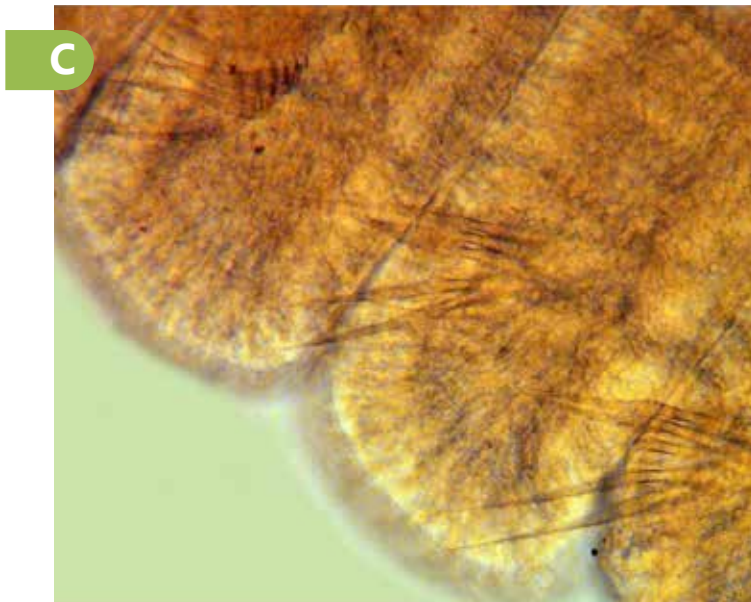
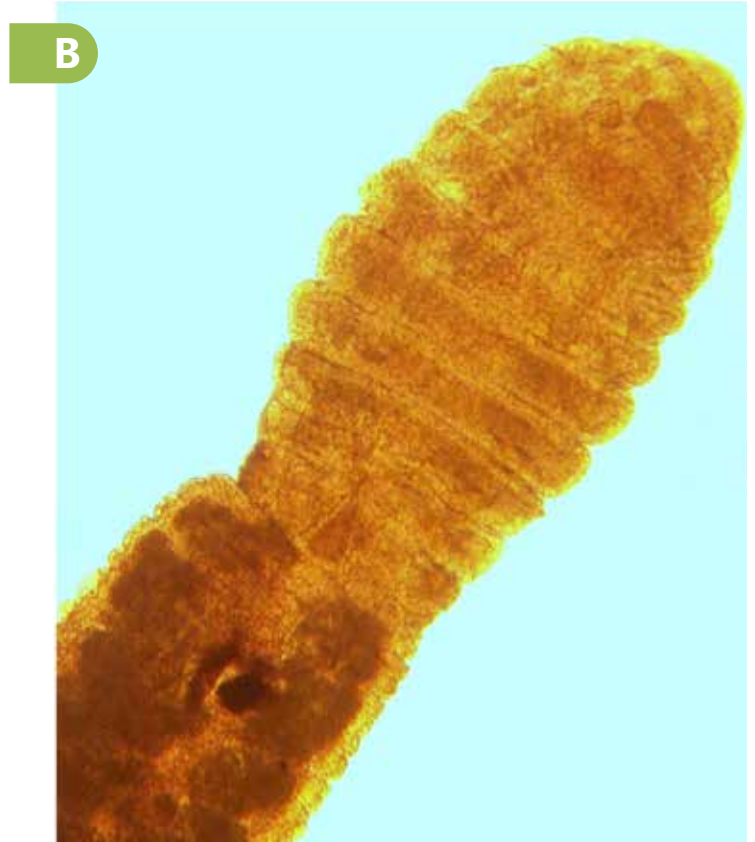
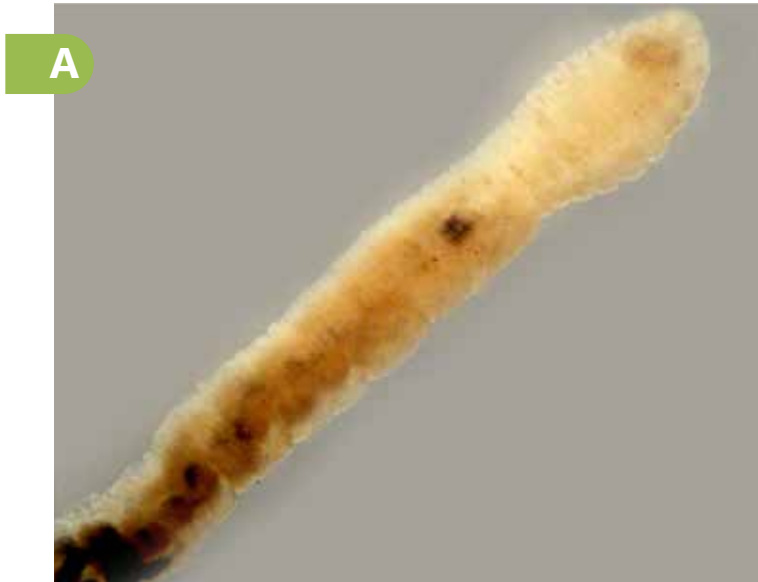


Figura 7.1. *Capitella capitata*: A. Organismo en vista ventral; B. Extremo anterior en vista ventral; C. Segmentos anteriores con setas, D. Setas capilares simples.

Observaciones: *Capitella capitata* es un complejo de especies difíciles de distinguir, debido a sus caracteres taxonómicos inconspicuos. Esto hace que su distribución parezca ser cosmopolita.

De acuerdo con Méndez (2006), esta especie se caracteriza por ser usada en estudios de indicadores biológicos, puesto que tiene gran resistencia a vivir en ambientes contaminados. Esta especie es eurihalina ya que se ha encontrado en amplios rangos de salinidad, desde agua dulce hasta agua de mar. En los trabajos de las faunas de fondo de los puertos contaminados, se le conoce como una de las especies más tolerantes en la macrofauna (Estcourt, 1967).

Distribución: En el Caribe colombiano, Bolaño (2005) reportó el género *Capitella* para el golfo de Morrosquillo, y Romero-Murillo y Polanía (2008) incluyeron a *Capitella* spp. para la isla San Andrés

(bahía Hooker). En el golfo de Urabá esta especie se encuentra en bahía Candelaria (figura 7.2).

Familia Nereididae Blainville, 1818
Género *Namalycastis* Hartman, 1959
***Namalycastis* sp.**
Figuras 7.3A-E, 7.4.

Diagnosis: Prostomio con 2 pares de ojos alineados (figura 7.3A). Peristomio con 4 pares de cirros tentaculares. Parápodos sub-birrámicos con cirro dorsal cirriforme, alargado en parápodos medios y posteriores (figura 7.3B). Acículas de color café oscuro. Setas compuestas. Parápodos anteriores con espiníferos homogonfos notopodiales (figura 7.3C), y con espiníferos homogonfos neuropodiales supraculares, y falcíferos heterogonfos (figura 7.3D) con una región serrada en la parte basal de la lámina de setas neuropodiales subaculares.

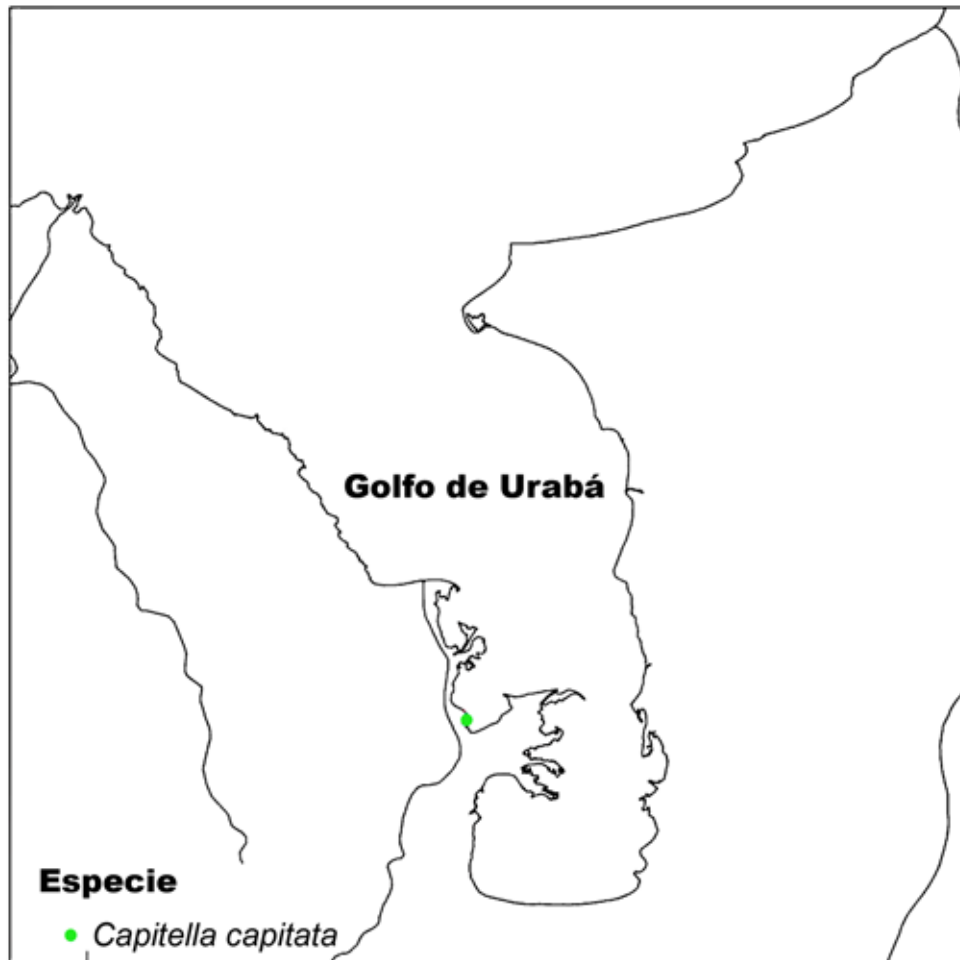


Figura 7.2. Mapa de distribución de *Capitella capitata* en el golfo de Urabá (puntos verdes).

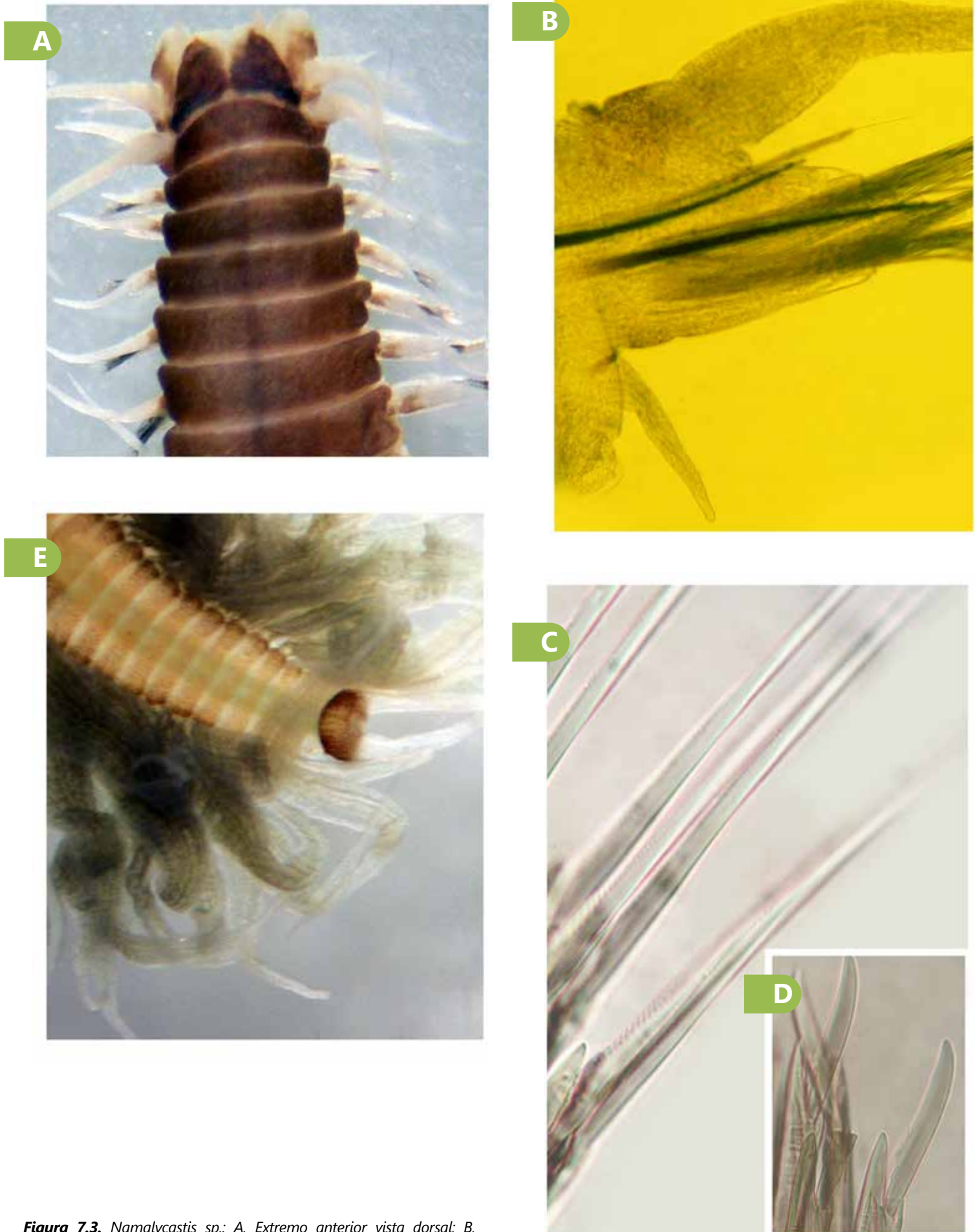


Figura 7.3. *Namalycastis* sp.: A. Extremo anterior vista dorsal; B. Parápodo anterior; C. Espiníferos heterogonfos cortos subaciculares neuropodiales; D. Falcíferos heterogonfos neuropodiales subaciculares; E. Pigidio en vista ventral.

Parápodos posteriores con espiníferos sesquigonfos notopodiales; espiníferos sesquigonfos supraciculares neuropodiales, y espiníferos heterogonfos cortos subaciculares neuropodiales. Al menos una notoseta en parápodos. Pigidio redondeado (figura 7.3E), con un par de cirros pigidiales paralelos y largos.

Observaciones: *Namalycastis* sp. es morfológicamente similar a *Namalycastis macroplatis* Glasby, 1999 (localidad tipo, Ilha de Marajó, Brasil), pues ambas especies tienen ojos, falcíferos heterogonfos en parápodos anteriores, que son reemplazados por espiníferos heterogonfos en parápodos posteriores, y presentan espiníferos sesquigonfos notopodiales; son especies que pueden alcanzar

más de 100 setíferos. Sin embargo, en la descripción original se aclara que *N. macroplatis* posee falcíferos heterogonfos neuropodiales de lámina larga, con 16 a 30 dientes en $\frac{1}{2}$ de la lámina, mientras que en *Namalycastis* sp. se encontró que los falcíferos heterogonfos neuropodiales de parápodos anteriores poseen entre 7 y 10 dientes en $\frac{1}{3}$ de la lámina. Es por ello que *Namalycastis* sp. se considera una especie aún no descrita.

Distribución: En el golfo de Urabá *Namalycastis* sp. se encuentra en bahía Yerbasal, bahía El Rotico, punta Coquito, Suriquí, bahía Candelaria, bahía La Paila, bahía Cocogrande, bahía Burrera, bahía Marirrí, ensenada de Rionegro, bahía Turbo y bahía El Uno (figura 7.4).



Figura 7.4. Mapa de distribución de *Namalycastis* sp. en el golfo de Urabá (puntos rojos).

Género *Neanthes* Kinberg, 1866
***Neanthes succinea* (Leuckart, 1847)**
Figuras 7.5A-G, 7.6.

Diagnosis: Organismo dorsalmente más oscuro (figura 7.5A). Faringe eversible, con mandíbulas café oscuro (figura 7.5B); paragnatos cónicos en todas las áreas. Área V con 2 paragnatos alineados longitudinalmente; área VI con varios paragnatos en grupo circular; áreas VII y VIII con 3 líneas irregulares de paragnatos cónicos grandes y pequeños. Parápodos birrámeos bien desarrollados, cirro dorsal digitiforme, expandido en parápodos medios y posteriores. Acículas negras (figura 7.5C, D). Parápodos anteriores con

espiníferos homogonfos notopodiales (figura 7.5E), con una región serrada en la base de la lámina; espiníferos homogonfos supraciculares neuropodiales, con una región serrada en la base de la lámina, y falcíferos heterogonfos subaciculares neuropodiales (figura 7.5F), con una región serrada en toda la lámina. Parápodos posteriores con espiníferos homogonfos notopodiales, con una región serrada en la base de la lámina; falcíferos heterogonfos supraciculares neuropodiales, y con espiníferos heterogonfos y falcíferos heterogonfos subaciculares neuropodiales. Pigidio levemente redondeado (figura 7.5G) con un par de cirros pigidiales.

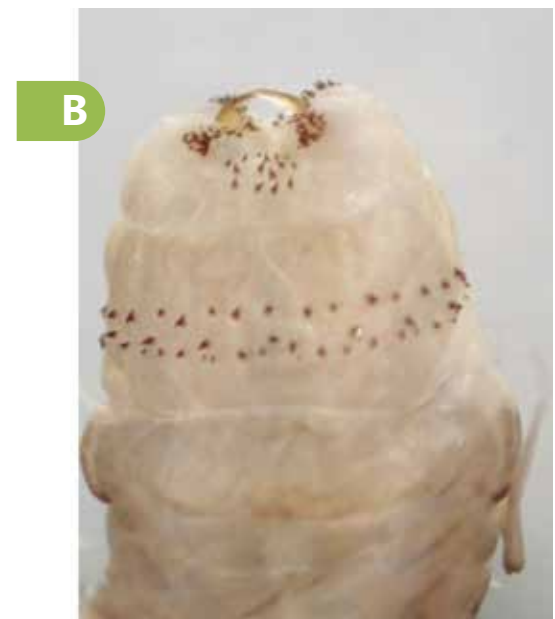


Figura 7.5. *Neanthes succinea*: A. Extremo anterior vista dorsal; B. Probóscide vista ventral con mandíbulas extendidas; C. Parápodo anterior; D. Parápodo posterior.

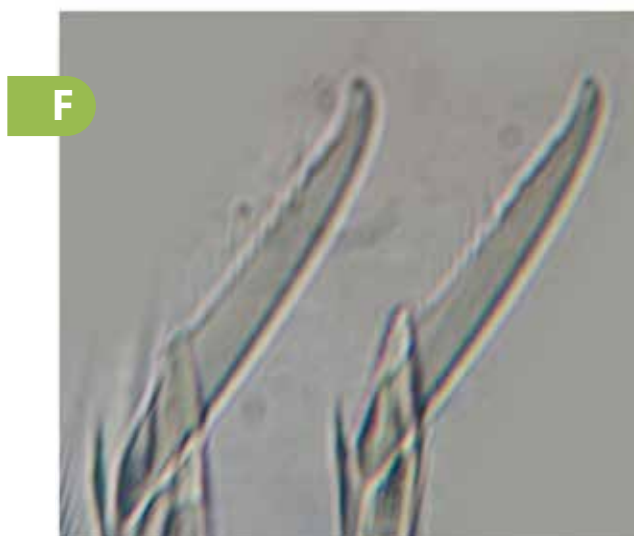


Figura 7.5. E. Espinígero homogonfo supracicular neuropodial; F. Falcígeros heterogonfos sub-ciculares neuropodiales; G. Pigidio.

Observaciones: *Neanthes succinea* tiene una distribución cosmopolita en aguas templadas y tropicales (Uebelacker y Jhonson, 1984), incluyendo estuarios y ambientes cerca de la costa. Pardoy Dauer (2003) anotan que *N. succinea* ha sido ampliamente reportada en comunidades bentónicas. También *N. succinea* es a menudo considerada como una especie oportunista, estuarina eurihalina (Boesch, 1977; Dauer et al., 1992; Dauer, 1993).

Neanthes succinea recientemente fue considerada dentro del género *Alitta* (Bakken y Wilson, 2005; Glasby et al., 2009; Quirós-Rodríguez et al., 2013); sin embargo, esta investigación considera el género *Neanthes* por estar mayormente documentado, y por ser "resucitado" por Sato (2013), quien refuta la ubicación de *Neanthes succinea* dentro del género *Alitta*, basado en que *N. succinea* sí posee notocículas en los setígeros 1 y 2, contrario a la afirmación de

Bakken y Wilson (2005), quienes consideran este carácter como ausente. Dicho lo anterior, aún hay una falta de claridad sistemática acerca de cuál es el género al que pertenece la especie.

Distribución: Báez y Ardilla (2003) mencionan a *N. succinea* para el archipiélago de San Andrés y Providencia, Tayrona, golfo de Morrosquillo, región de influencia de Magdalena y Darién, referenciados en Palacio (1978), Pérez y Victoria

(1978), Dueñas (1981) como *Nereis (Neanthes) succinea*; también ha sido reportada por Londoño-Mesa et al. (2002) para las islas San Andrés (bahía Honda y bahía Hooker) y Providencia (McBean Lagoon), por lo que es ampliamente encontrada en el Caribe colombiano. En el golfo de Urabá, esta especie se encuentra en bahía Yerbasal, punta Coquito, bahía El Rotico, bahía Candelaria, bahía La Paila, bahía Burrera, bahía Cocogrande, bahía Marirrió, bahía Turbo y bahía El Uno (figura 7.6).

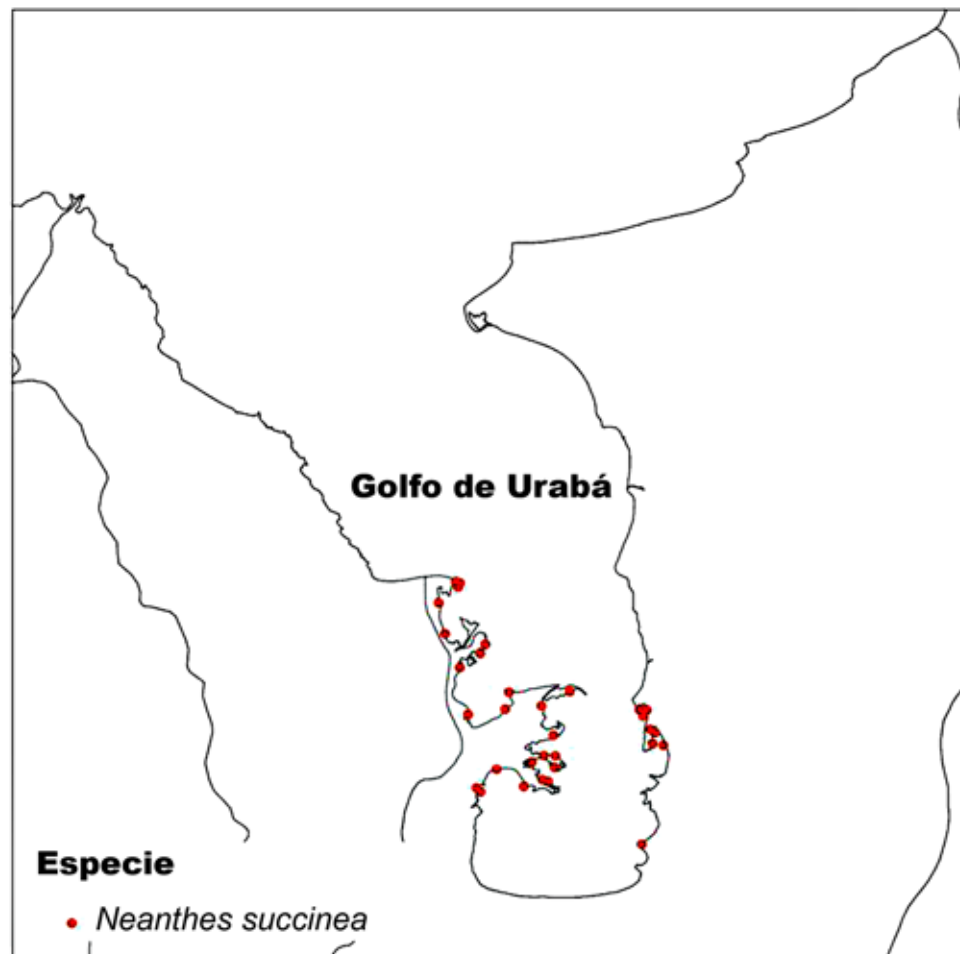


Figura 7.6. Mapa de distribución de *Neanthes succinea* en el golfo de Urabá (puntos rojos).

Género *Platynereis* Kinberg, 1866
***Platynereis mucronata* de León-González,**
Solís-Weiss y Valadez-Rocha, 2001
 Figuras 7.7A-G, 7.8.

Diagnosis: Prostomio con dos pares de ojos laterales negros (figura 7.7A) con coloración morada en los bordes. Peristomio con 4 pares de cirros tentaculares. Faringe con pectinas y parches de conos (figura 7B). Parápodos birrámeos (figura 7.7C, E) con setas compuestas. Parápodos con espiníferos homogonfos notopodiales (figura 7.7D), con espiníferos homogonfos y falcíferos heterogonfos supraciculares neuropodiales, y con falcíferos heterogonfos subaciculares neuropodiales (figura 7.7F), con terminación en gancho y una región serrada basal. Pigidio levemente redondeado (figura

7.7G) con un par de cirros pigidiales laterales largos blancos.

Observaciones: *Platynereis mucronata* es similar a *Platynereis hutchingsae* de León-González, Solís-Weiss y Valadez-Rocha, 2001; no obstante, la descripción original menciona que *P. hutchingsae* no presenta pectinas en las áreas I, III, IV y V de la faringe, mientras que *P. mucronata* presenta pectinas en las áreas III y IV; adicionalmente, *P. mucronata* presenta falcíferos heterogonfos neuropodiales con terminación en gancho, los cuales están ausentes en *P. hutchingsae*.

En el Caribe colombiano, *P. mucronata* se encuentra asociada a manglares y macroalgas, a una profundidad, entre 0,5 m y 3 m.



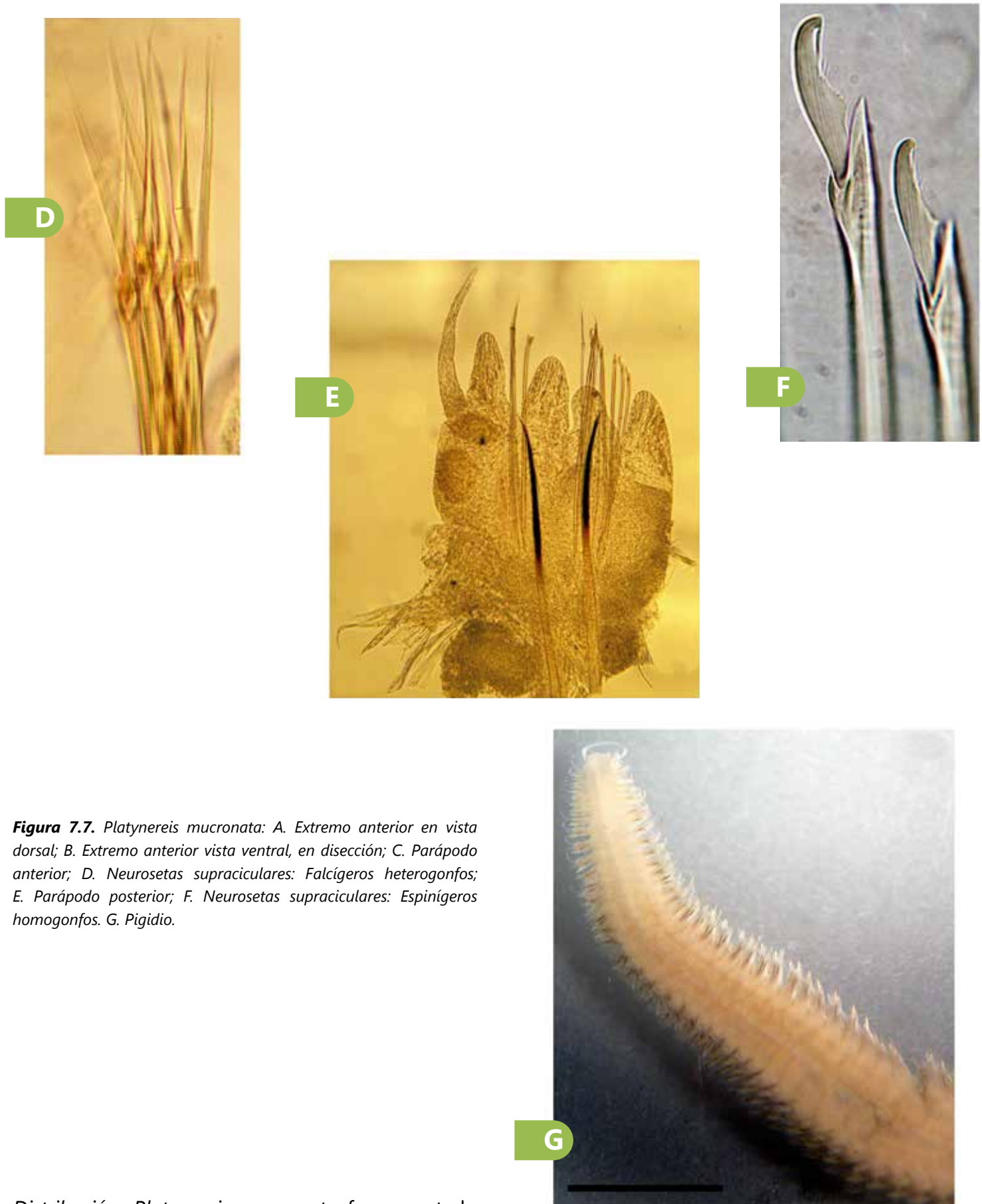


Figura 7.7. *Platynereis mucronata*: A. Extremo anterior en vista dorsal; B. Extremo anterior vista ventral, en disección; C. Parápodo anterior; D. Neurosetas supraciculares: Falcíferos heterogonfos; E. Parápodo posterior; F. Neurosetas supraciculares: Espiníferos homogonfos. G. Pigidio.

Distribución: *Platynereis mucronata* fue reportado por primera vez para el archipiélago de San Andrés y Providencia, asociada a raíces de mangle rojo (Arteaga-Flórez y Londoño-Mesa, 2015). Los especímenes en el golfo de Urabá (figura 7.8), fueron encontrados en Arboletes, con gran influencia marina, asociados a macroalgas.

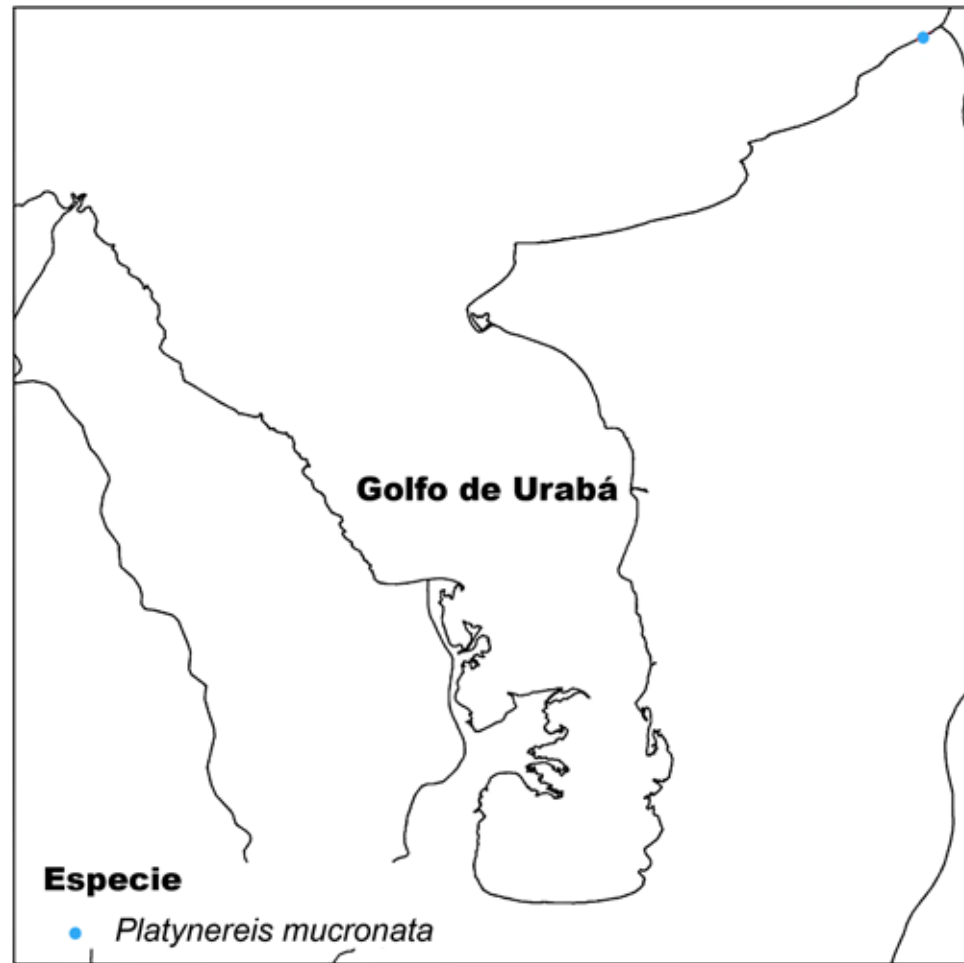


Figura 7.8. Mapa de distribución de *Platynereis mucronata* en el golfo de Urabá (punto azul).

Género *Stenonereis* Wesenberg-Lund, 1958
***Stenonereis tecolutlensis* de León-González y**
Solís-Weiss, 1997
 Figuras 7.9A-E, 7.10.

Diagnosis: Organismo completo, de color marrón (figura 7.9A); prostomio con dos pares de ojos, un par de antenas y un par de palpos (figura 7.9B). Peristomio con 4 pares de cirros tentaculares, los dorsales anteriores foliosos y expandidos. Mandíbulas delgadas, transparentes con región distal negra. Parápodos birrámeos con noto y neuroacículas transparentes. Notópodos anteriores (figura 7.9C) con lígula digitiforme, con cirro inserto distalmente; neurópodos anteriores

con un lóbulo subcónico con cirro cirriforme inserto basalmente. Notópodos y neurópodos medio y posteriores (figura 7.9D), con lóbulos subcilíndrico y con cirros, el dorsal inserto distalmente y el ventral inserto basalmente. Notosetas anteriores y posteriores, espiníferos homogonfos (figura 7.9E) supra-aciculares espinulados en el margen interno. Neurosetas anteriores, espiníferos homogonfos supra-aciculares espinulados en el margen interno; falcíferos heterogonfos espinulados con apéndice largo. Neurosetas posteriores, espiníferos homo y heterogonfos espinulados supra e infra-aciculares. Pigidio (figura 7.9F) con incisión media pronunciada y un par de cirros laterales.

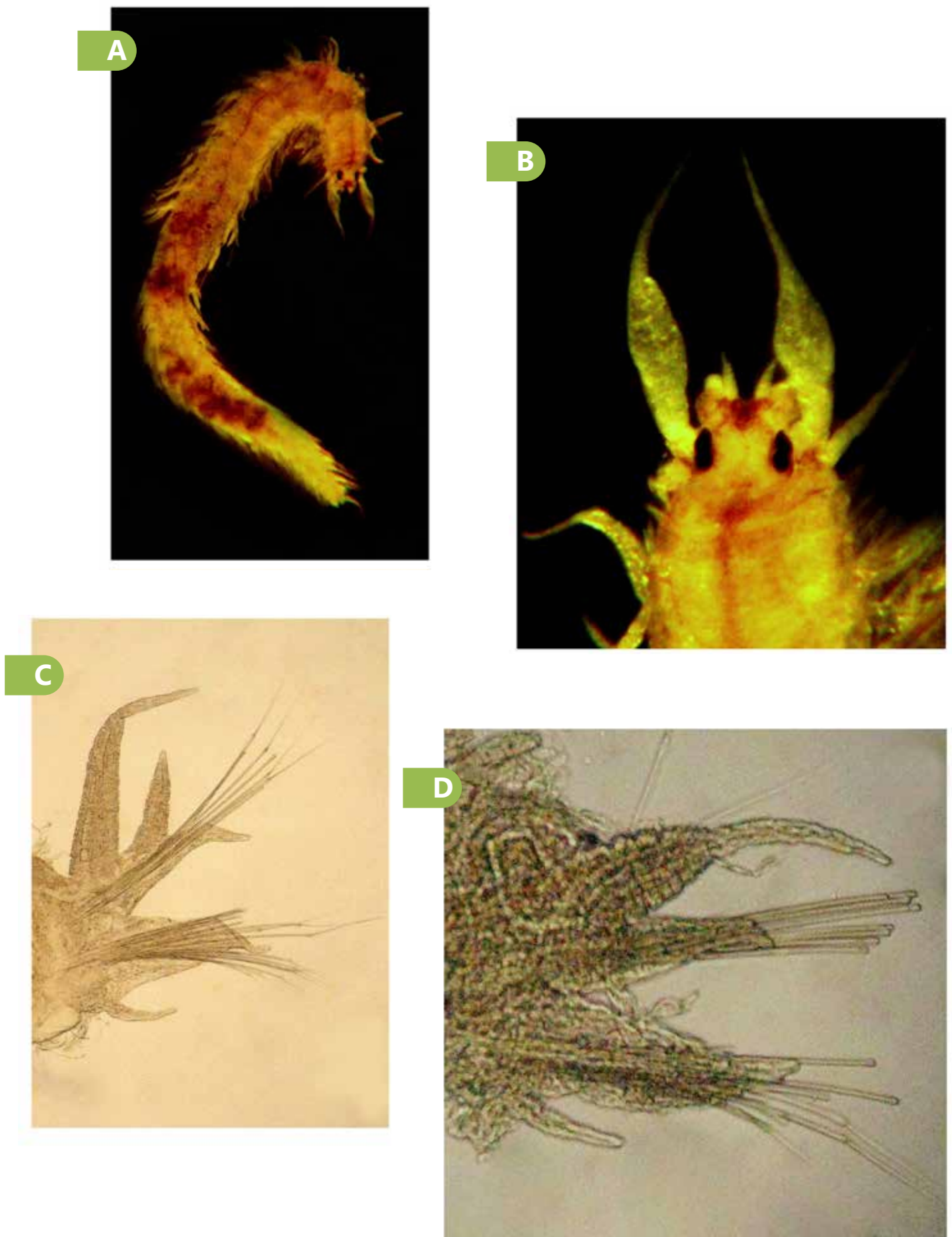


Figura 7.9. *Stenoninereis tecolotlensis*: A. Organismo completo en vista dorsal; B. Extremo anterior en vista dorsal; C. Parápodo anterior; D. Parápodo posterior.

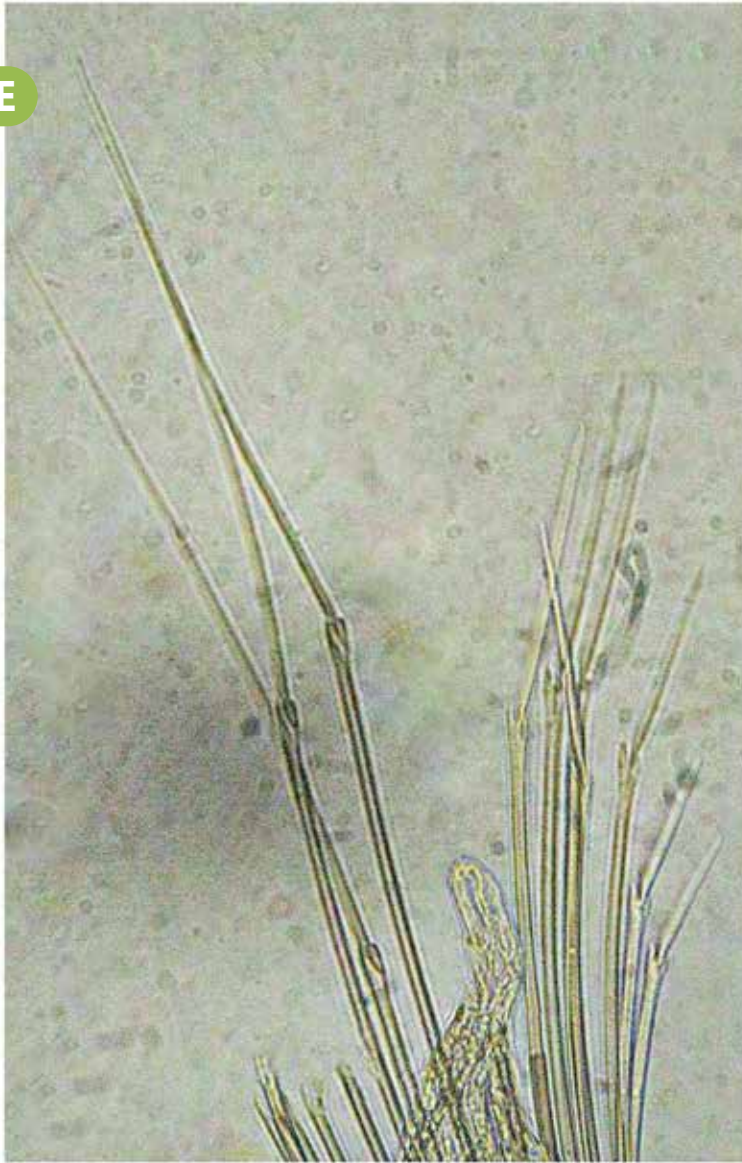


Figura 7.9. Continuación: E. Espinígeros homogonfos y falcígeros heterogonfos neuropodiales; F. Pigidio en vista dorsal.



Observaciones: *Stenoninereis tecolutlensis* es una especie morfológicamente caracterizada por poseer cirros peristomiales foliosos y notópodos anteriores bifurcados. Esta especie solo ha sido descrita para el Caribe mexicano; por tanto, la presente investigación amplía el rango de distribución de *S. tecolutlensis* al Caribe sur, siendo el primer registro para las costas colombianas.

Distribución: *S. tecolutlensis* fue descrita originalmente para Tecolutla, golfo de México, mar Caribe (de León-González y Solís-Weiss, 1997). Así entonces, se distribuye en el Caribe mexicano y colombiano. En el golfo de Urabá, esta especie se encuentra en Suriquí, bahía Marirrí, ensenada de Rionegro, Arboletes, bahía El Rotico, bahía Turbo y bahía El Uno (figura 7.10).

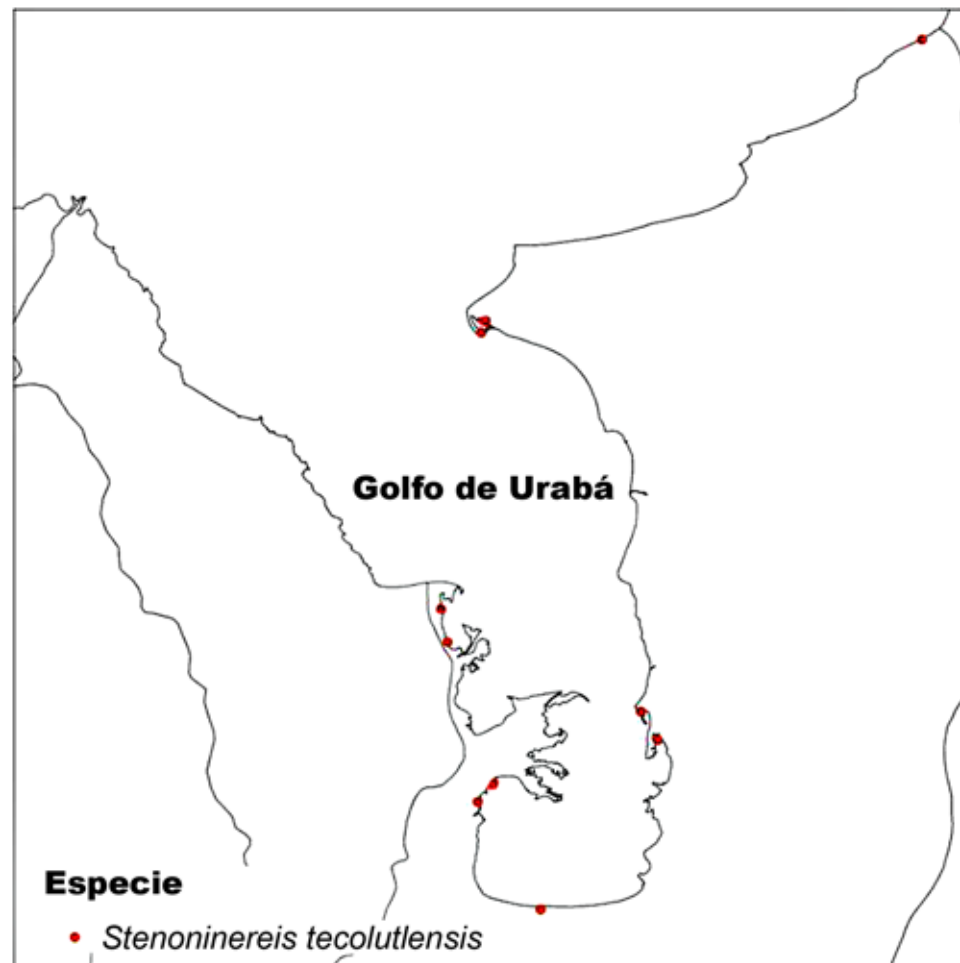


Figura 7.10. Mapa de distribución de *Stenoninereis tecolutlensis* en el golfo de Urabá (puntos rojos).

Stenoninereis sp.

Figuras 7.11A-E, 7.12.

Diagnosis: Prostomio con dos pares de ojos laterales alineados (figura 7.11A), negros y grandes, un par de antenas y un par de palpos transparentes. Peristomio con 4 pares de cirros tentaculares. Faringe con mandíbulas pequeñas color café. Parápodos birrámeos. Notópodos anteriores y posteriores con lóbulos bífidos, y lígula dorsal foliosa con cirro digitiforme insertado distalmente. Neurópodos anteriores y posteriores con un lóbulo ventral, y un cirro digitiforme inserto basalmente (figura 7.11B). Acículas de color transparente. Notosetas anteriores y posteriores, espiníferos homogonfos; neurosetas anteriores (figura 7.11C) y posteriores como espiníferos homogonfos supraciculares e infraciculares y falcíferos heterogonfos infraciculares (figura 7.11D). Pigidio (figura 7.11E) con incisión media pronunciada y un par de cirros laterales.

Observaciones: *Stenoninereis* sp. es morfológicamente cercana a *Stenoninereis tecolutlensis*; sin embargo, difieren en la forma de los cirros tentaculares peristomiales anteriores, pues en *S. tecolutlensis* son foliosos y expandidos, mientras que en *Stenoninereis* sp. no son expandidos. Adicionalmente, *Stenoninereis* sp. posee parápodos anteriores y posteriores con notópodos bífidos, mientras que *S. tecolutlensis* solo posee parápodos anteriores con notópodos bífidos.

Stenoninereis sp. se encontró en simpatria con *S. tecolutlensis*, bajo las mismas condiciones físico-químicas. Es por ello que posiblemente se trate de la misma especie; sin embargo, es necesaria una observación taxonómica especializada, analizando las diferentes etapas de desarrollo de estas dos especies, o un análisis molecular.

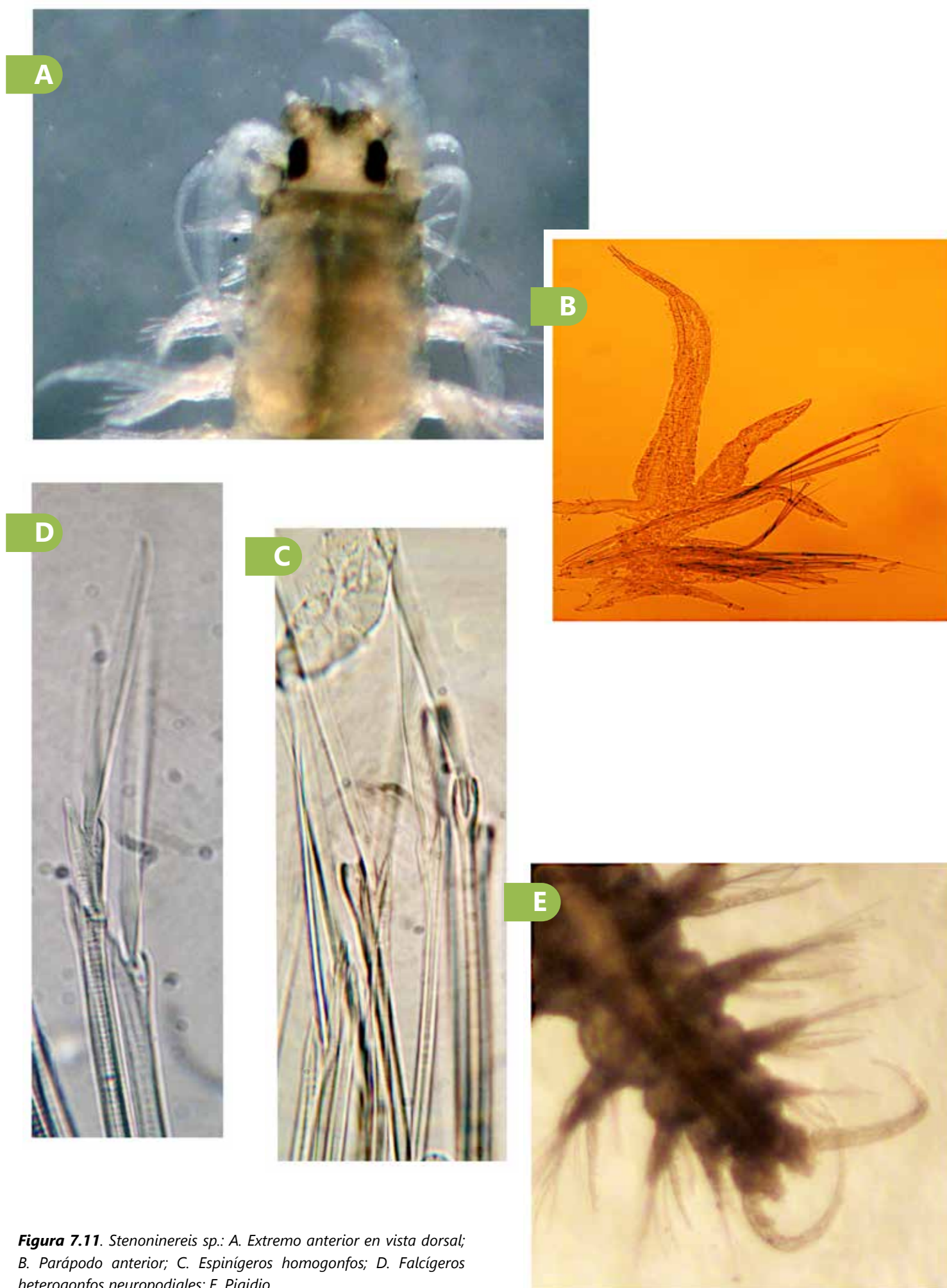


Figura 7.11. *Stenoninereis* sp.: A. Extremo anterior en vista dorsal; B. Parápodo anterior; C. Espiníferos homogonfos; D. Falcíferos heterogonfos neuropodiales; E. Pigidio.

Distribución: En el golfo de Urabá esta especie se encuentra en Suriquí, bahía Marirrí, ensenada de

Rionegro, Arboletes, bahía El Rotico, bahía Turbo y bahía El Uno (figura 7.12).

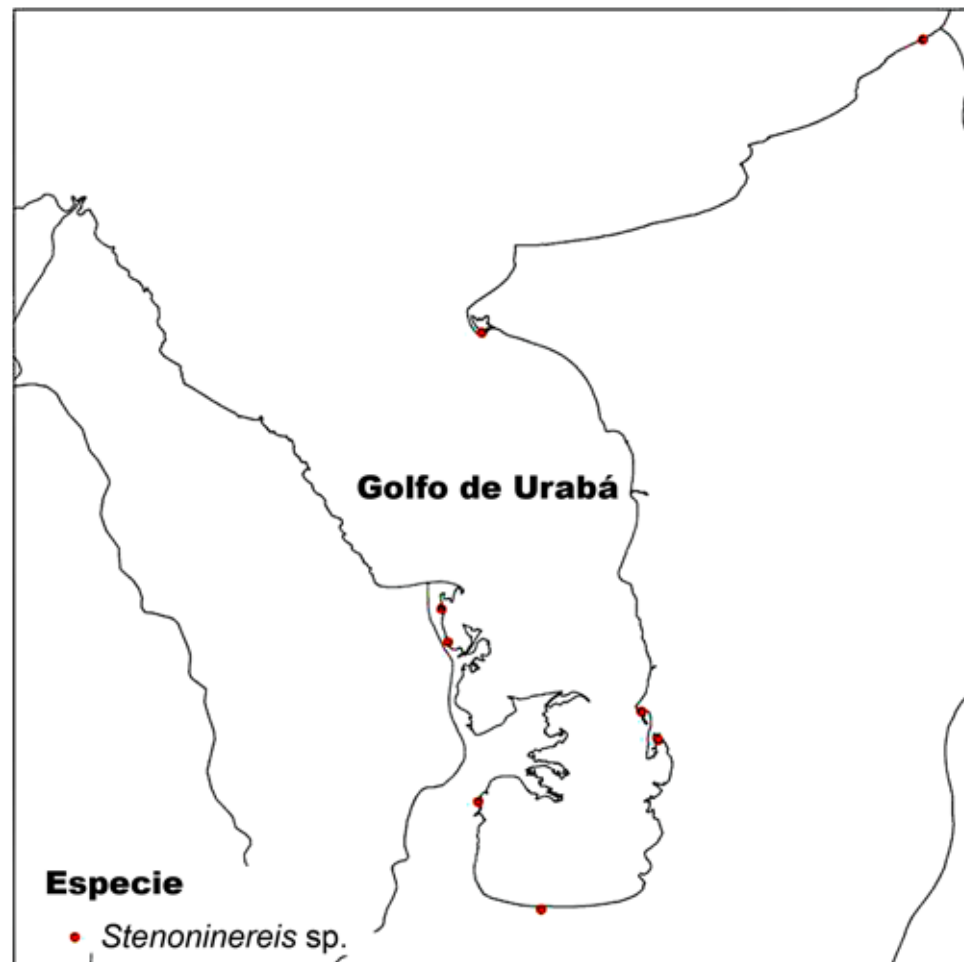


Figura 7.12. Mapa de distribución de *Stenoninereis* sp. en el golfo de Urabá (puntos rojos).

Familia Sabellidae Latreille, 1825
Subfamilia Sabellinae Chamberlin, 1919
Género *Demonax* Kinberg, 1867
***Demonax lacunosus* Perkins, 1984**
 Figuras 7.13A-D, 7.14.

Diagnosis: Organismo juvenil (figura 7.13A). Torsión en el séptimo segmento. Corona branquial del mismo color del cuerpo y de $\frac{1}{4}$ del largo del mismo; radiolos con esqueleto cartilaginoso formado por 2 hileras de células, con una o dos manchas café a lo largo del radiolo. Lóbulos braquiales no fusionados dorso-ventralmente. Cojinete ventral del collar tan ancho como lar-

go. Setas limbadas y paleadas en el tórax, y unilimbadas en el abdomen (figura 7.13B). Uncinos torácicos aviculares con manubrio más grande que la distancia entre la cresta y el pecho (figura 7.13C); uncinos con setas acompañantes. Pigidio en punta (figura 7.13D).

Observaciones: *Demonax lacunosus* no ha sido reportada para el Caribe colombiano; sin embargo, Báez y Ardilla (2003) enlistan *Demonax microphthalmus* para el Archipiélago de San Andrés y Providencia, la región de influencia del río Magdalena y Archipiélagos coralinos, teniendo así referencia del género en Colombia.



Figura 7.13. *Demonax lacunosus*: A. Extremo anterior en vista ventral. B. Notosetas torácicas. C. Uncinos torácicos. D. Pigidio.

Distribución: El género ha sido reportado en el Caribe por Long y Zottoli (1998), quienes identifican a *Demonax* sp. en las Bahamas, a una profundidad de 1.5m, a través de un ejemplar sub-adulto. En el

golfo de Urabá esta especie se encuentra en bahía Marirríó, bahía Candelaria, bahía Turbo y bahía El Uno (figura 7.14).

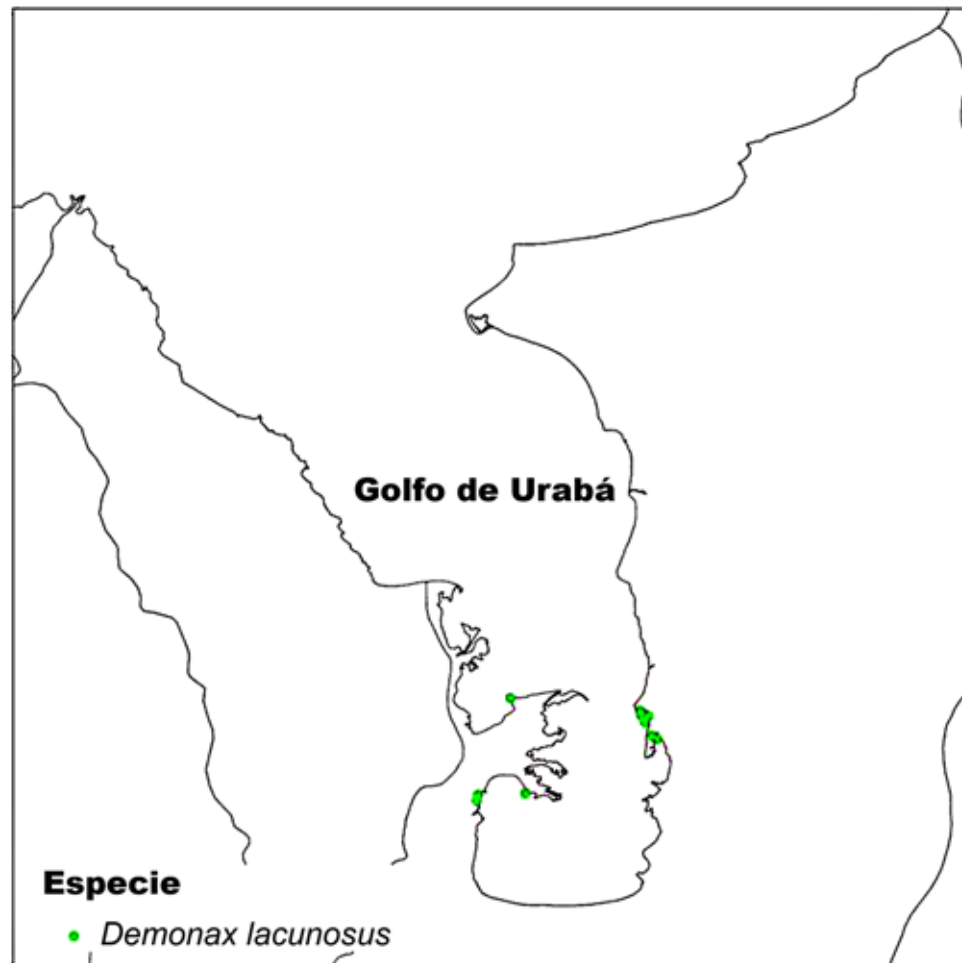


Figura 7.14. Mapa de distribución de *Demonax lacunosus* en el golfo de Urabá (puntos verdes).

Familia Serpulidae Rafinesque, 1815
Género Ficopomatus Southern, 1921
***Ficopomatus miamiensis* (Treadwell, 1934)**
 Figuras 7.15A-H, 7.16.

Diagnosis: Opérculo cóncavo, color café con manchas negras en el embudo y bordes negros y lisos (figuras 7.15A, B, C), y pedúnculo liso color café, nunca con espinas. Membranas torácicas libres. Tórax con 6 segmentos. Setas del collar bidentadas (figura 7.15D), setas del tórax capilares (figura 7.15E) y setas tipo aleta con una región serrada basal en el abdomen (figura 7.15F). Uncinos torácicos uniseria-

dos con diente basal entero (figura 7.15G). Pigidio redondeado con una incisión media ventral (figura 7.15H). Tubo calcáreo curvado irregularmente.

Observaciones: Las características generales de *F. miamiensis* han sido discutidas por varios autores, presentando así ciertas dudas en los caracteres importantes para una identificación; a pesar de ello, las características diagnósticas del género y la especie, como setas dentadas del collar y opérculo cóncavo sin espinas (exclusivas de la especie), concuerdan con las diversas descripciones en donde se ha encontrado la especie.



Figura 7.15. *Ficopomatus miamiensis*: A. Organismo completo en vista dorsal; B. Extremo anterior en vista ventral; C. Extremo anterior en vista ventral; D. Setas del collar; E. Setas capilares torácicas; F. Setas capilares abdominales; G. Uncinos torácicos. H. Pigidio.

Distribución: Ten Hove y Weerdenburg (1978) analizaron la distribución de *Ficopomatus miamiensis*, encontrando que hasta esa fecha estaba restringida al Atlántico Tropical y Subtropical, en áreas del norte y centro América, y en algunas localidades aisladas del Pacífico panameño, junto al Canal de Panamá. Hasta este estudio, la especie no había

sido encontrada en el Caribe colombiano; por tanto, este hallazgo aumenta la distribución de esta especie. En el golfo de Urabá, esta especie se encuentra en bahía Yerbasal, bahía El Rotico, bahía La Paila, bahía Cocogrande, bahía Candelaria, bahía Marirrí, bahía Burrera, ensenada de Rionegro, bahía Turbo y bahía El Uno (figura 7.16).

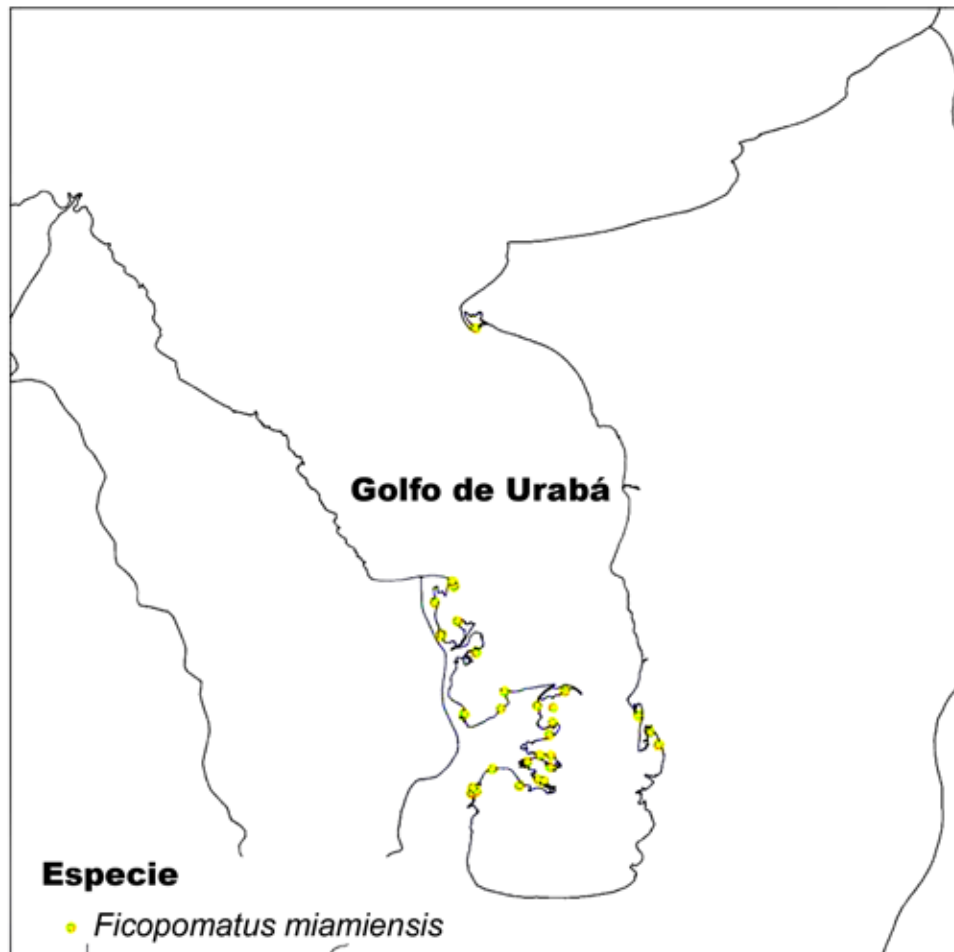


Figura 7.16. Mapa de distribución de *Ficopomatus miamiensis* en el golfo de Urabá (puntos amarillos).

***Ficopomatus uschakovi* (Pillai, 1960)**

Figuras 7.17A-F, 7.18.

Diagnosis: Organismo completo fuera del tubo (figura 7.17A). Tórax con 6 segmentos. Membranas torácicas fusionadas dorsalmente. Corona branquial (figura 7.17B) café beige con 3-5 manchas transversales gruesas negras a lo largo de cada radiolo; base de la corona branquial negra ventralmente. Opérculo (figura 7.17C) esférico y simétricamente radial, de pedúnculo beige y em-

budo café oscuro, con 1 hilera de espinas transparentes. Setas del collar (figura 7.17D) unidentadas, setas capilares en el tórax y setas paleadas con una región serrada basal en el abdomen. Uncinos torácicos uniseriados. Pigidio (figura 7.17E) redondeado con una incisión media. Tubo calcáreo curvado irregularmente, adherido fuertemente a la raíz (figura 7.17F).

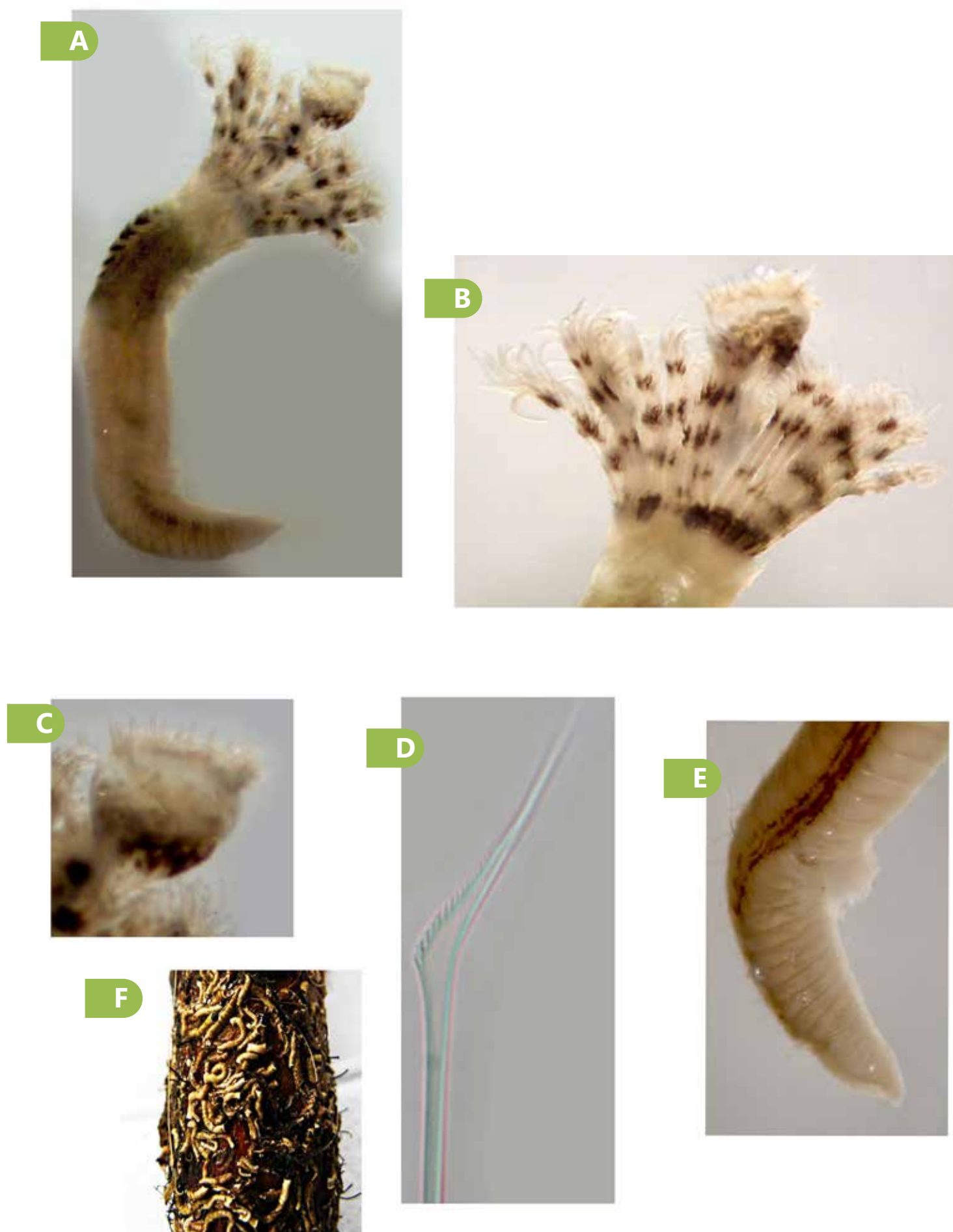


Figura 7.17. *Ficopomatus uschakovi*: A. Organismo completo en vista dorsal; B. Corona tentacular; C. Opérculo; D. Seta del collar; E. Pigidio; F. Tubos en raíz de mangle.

Observaciones: Uno de los caracteres diagnósticos más importante para diferenciar esta especie es el opérculo esférico con 1-4 hileras de espinas transparentes, en disposición circular, y membranas torácicas fusionadas dorsalmente. A diferencia de lo que mencionan Ten Hove y Weerdenburg (1978), los especímenes encontrados en éste trabajo poseen 6 segmentos torácicos y no 7.

Ten Hove y Weerdenburg (1978) explican que esta especie ha sido confundida con *Ficopomatus enigmaticus* (Fauvel, 1923); sin embargo, Pillai

(1971) y Hartmann-Schröder (1971) aclararon esta confusión, indicando que estas 2 especies están separadas geográficamente, ya que *F. enigmaticus* se presenta en áreas subtropicales-templadas, mientras que *F. uschakovi* se presenta en la región paleotropical.

Distribución: Esta especie fue reportada por primera vez por Arteaga-Flórez et al. (2014), para el Caribe colombiano, con base en los datos obtenidos en el golfo de Urabá. En el golfo de Urabá esta especie se encuentra en varios lugares de bahía El Uno (figura 7.18).

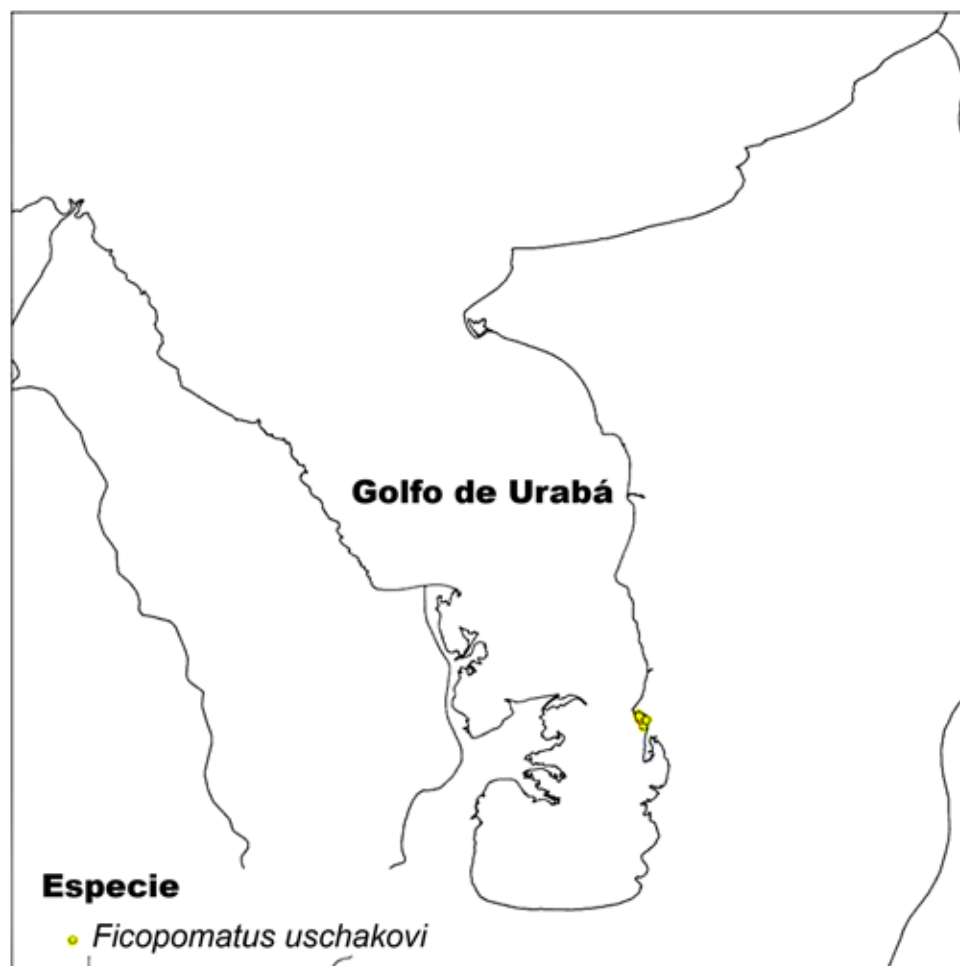


Figura 7.18. Mapa de distribución de *Ficopomatus uschakovi* en el golfo de Urabá (puntos amarillos).

Familia Spionidae Grube, 1850
Género Boccardia Carazzi, 1893
***Boccardia* sp.**

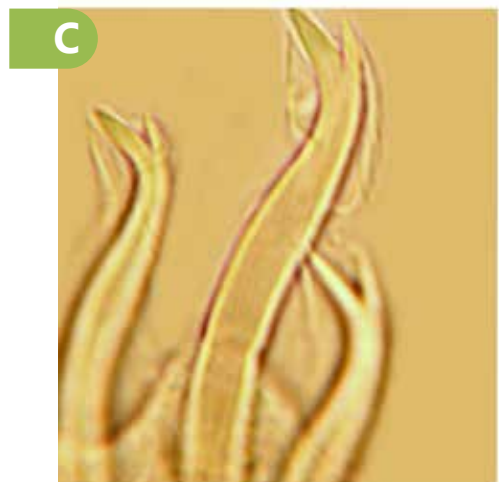
Figuras 7.19A-F, 7.20.

Diagnosis: Organismo completo (figura 7.19A). Prostomio redondeado con dos pares de ojos; un par de palpos que salen de su región postero-dorsal (figura 7.19B), beige con bordes café, más largos que la mitad del cuerpo del organismo; con carúncula expandida hasta el segundo segmento. Branquias en los segmentos 2-3, y segmentos 7-14. Setas de varios tipos: setas encapuchadas con dos dientes en los segmentos medios (figura 7.19C); capilares en los segmentos anteriores; setas falcadas y setas distalmente capitadas e hirsutas en el segmento 5 (Figura 7.19D); setas encapuchadas con dos dientes y capilares en los segmentos medio-posteriores. Acículas (figura 7.19E, F) en los segmentos medio-posteriores en forma de garfio.

Observaciones: Los especímenes obtenidos en el muestreo cumplen con las características diagnósticas del género, entre ellas la aparición de ganchos encapuchados desde el segmento 7 (Light, 1978; Blake y Kudenov, 1978). La especie encontrada en este estudio no se describe debido a que no cumple

con ciertas características taxonómicas de ciertas especies: *Boccardia proboscidea* (Hartman, 1940) se distingue por poseer una carúncula extendida hasta el setígero 3, lo cual difiere de los especímenes encontrados que poseen una carúncula extendida hasta el setígero 2; *B. galapagense* Blake, 1986 se distingue porque carece de ojos, a diferencia de la especie encontrada en éste trabajo que tiene 2 pares de ojos; *B. polybranchia* (Haswell, 1885) tiene 6-8 ojos y todos los setígeros con ganchos cubiertos, a excepción de la especie de este trabajo, la cual tiene 4 ojos y solo tiene ganchos cubiertos a partir del setígero 7; *B. tricuspa* (Hartman, 1939) tiene espinas del setígero 5 tridentadas, por lo que difiere de *Boccardia* sp. ya que carece de las mismas. De acuerdo a lo anterior la especie no se determinó, a causa de que sus caracteres no concordaban con los de alguna especie vista en la literatura.

Distribución: Esta especie no había sido reportada para el Caribe colombiano, por lo que este estudio aumenta su distribución al centro-sur del Gran Caribe, y al sureste del Caribe colombiano. En el golfo de Urabá esta especie se encuentra en bahía Cocogrande, bahía Marirrí, bahía La Paila, bahía El Rotico, bahía Candelaria, bahía Burrera, bahía Turbo y bahía El Uno (figura 7.20).



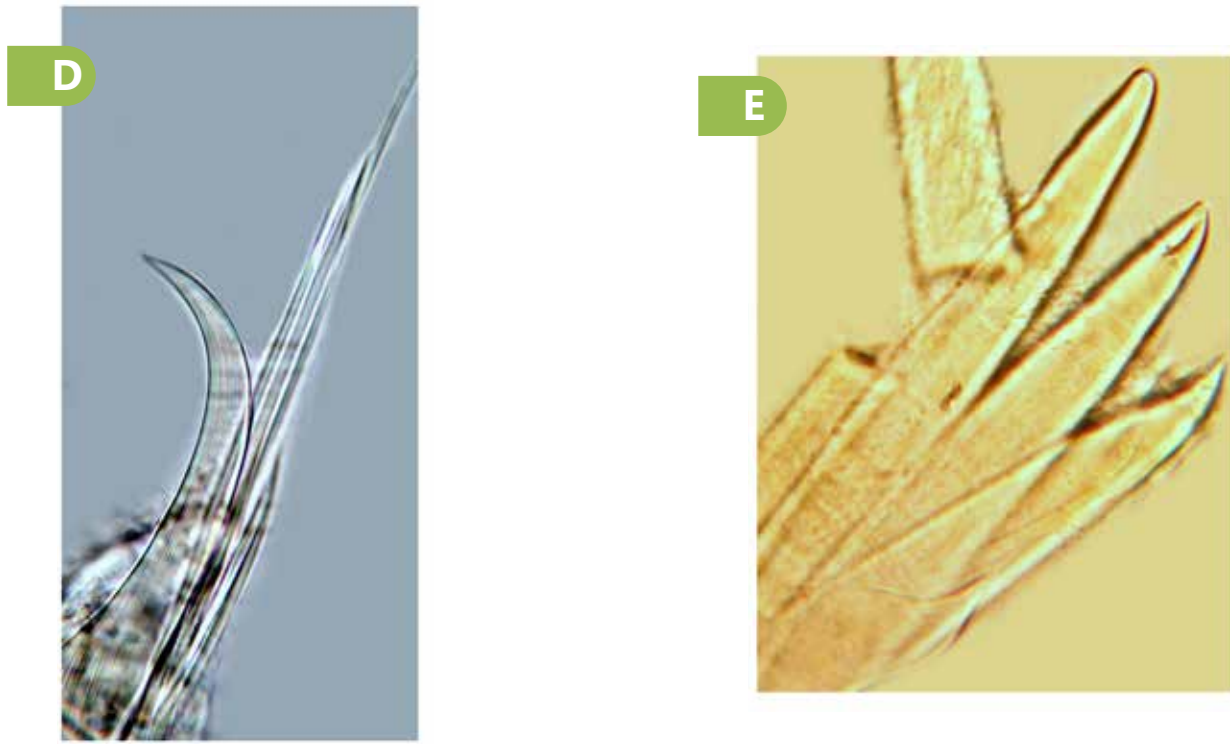


Figura 7.19. *Boccardia* sp.: A. Organismo completo en vista dorsal; B. Extremo anterior en vista ventral; C. Ganchos encapuchados de parápodos medios; D. Setas falcadas y capitadas hirsutas del segmento 5; E. Acículas y setas capilares de los parápodos medios.

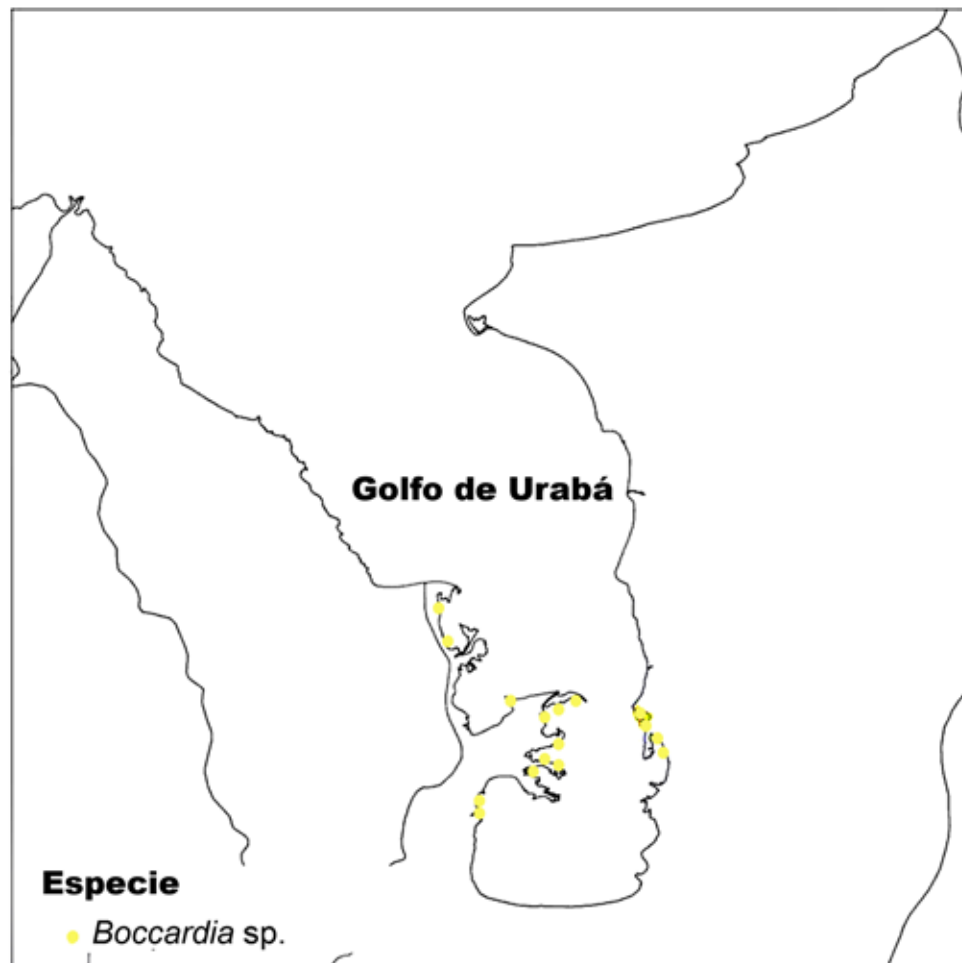


Figura 7.20. Mapa de distribución de *Boccardia* sp. en el golfo de Urabá (puntos amarillos).

Género *Streblospio* Webster, 1879
***Streblospio benedicti* Webster, 1879**
 Figuras 7.21A-G, 7.22.

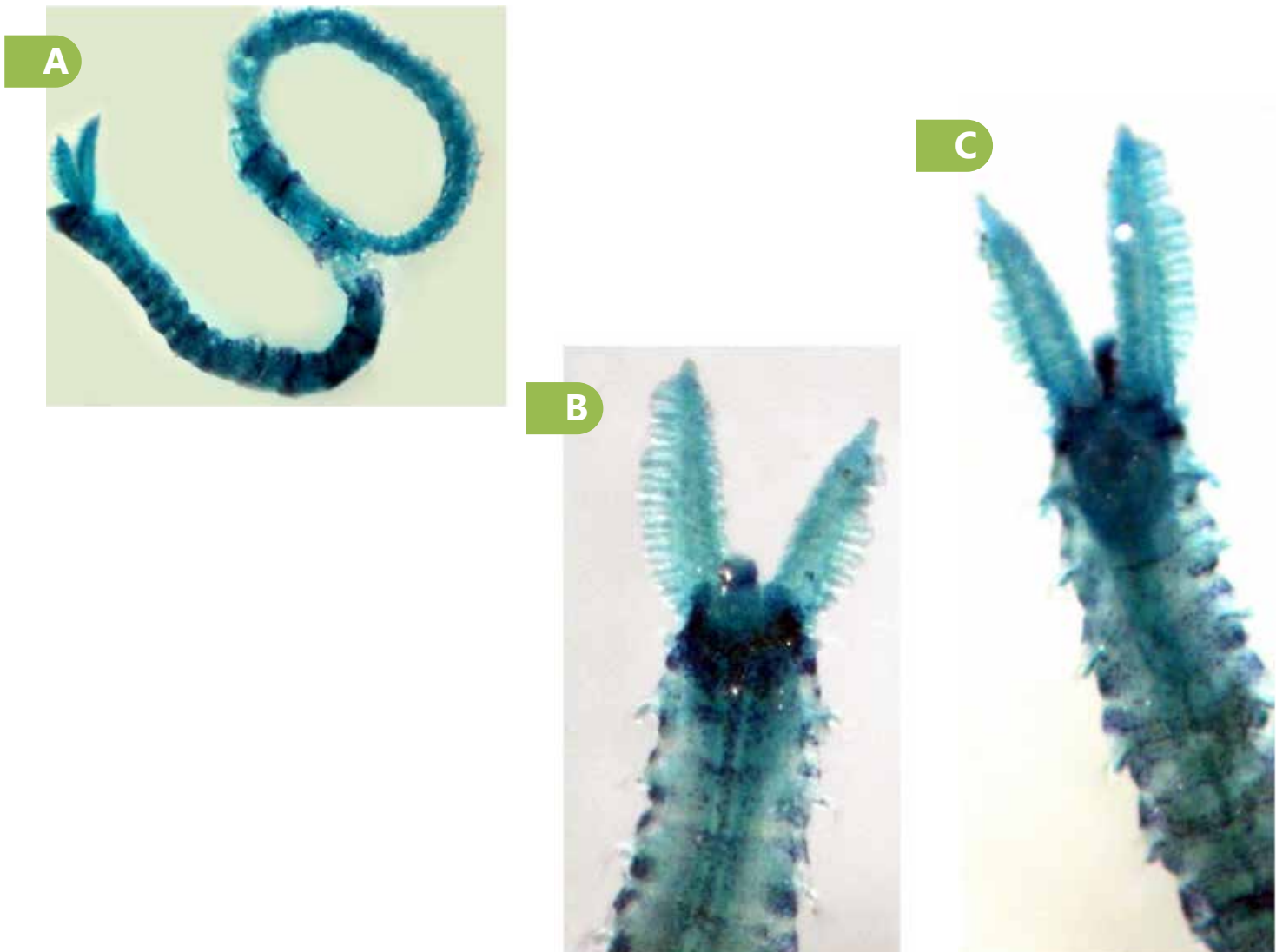
Diagnosis: Organismo completo (figura 7.21A). Prostomio redondeado con cicatrices de los palpos. Par de branquias sólo en el primer segmento, más largas que la longitud del prostomio (figura 7.21B, C). Membrana dorsal expandida en forma de U en el segundo segmento, extendiéndose en la parte media hasta el tercer segmento. Prostomio redondeado con 2 pares de ojos negros del mismo tamaño, casi alineados longitudinalmente. Sin carúncula, sin cuernos, sin tentáculo occipital. Setas capilares en todo el organismo (figura 7.21D, E). Pigidio redondeado sin cirros pigidiales (figura 7.21F).

Observaciones: Aunque Dauer et al. (2003) mencionan que *S. benedicti* se encuentra ampliamente distribuida en hábitats templados y hábitats sedi-

mentarios como los estuarios, Laverde-Castillo y Rodríguez-Gómez (1987) mencionan en su listado que esta especie está presente en el Caribe. No obstante, Schulze et al. (2000) y Mahon et al. (2009) consideran que esta especie no está presente en el Caribe, y que todo el material debería corresponder a *S. gymnobranchiata*.

Esta especie ha sido clasificada como oportunista eurihalina e indicadora de ambientes perturbados (Boesch, 1977; Levin, 1986; Marsh y Tenore, 1990; Dauer et al., 1992; Dauer, 1993; Bridges et al., 1994; Weisberg et al., 1997; Ritter y Montagna, 1999).

Distribución: Para el Caribe colombiano, Álvarez-León y Laverde-Castillo (2003) reportaron *Streblospio benedicti* para la laguna sur de la bahía Chengue (PNNT), en aguas con influencia marina, principalmente. En el golfo de Urabá, esta especie se encuentra solamente en bahía Turbo (figura 7.22).



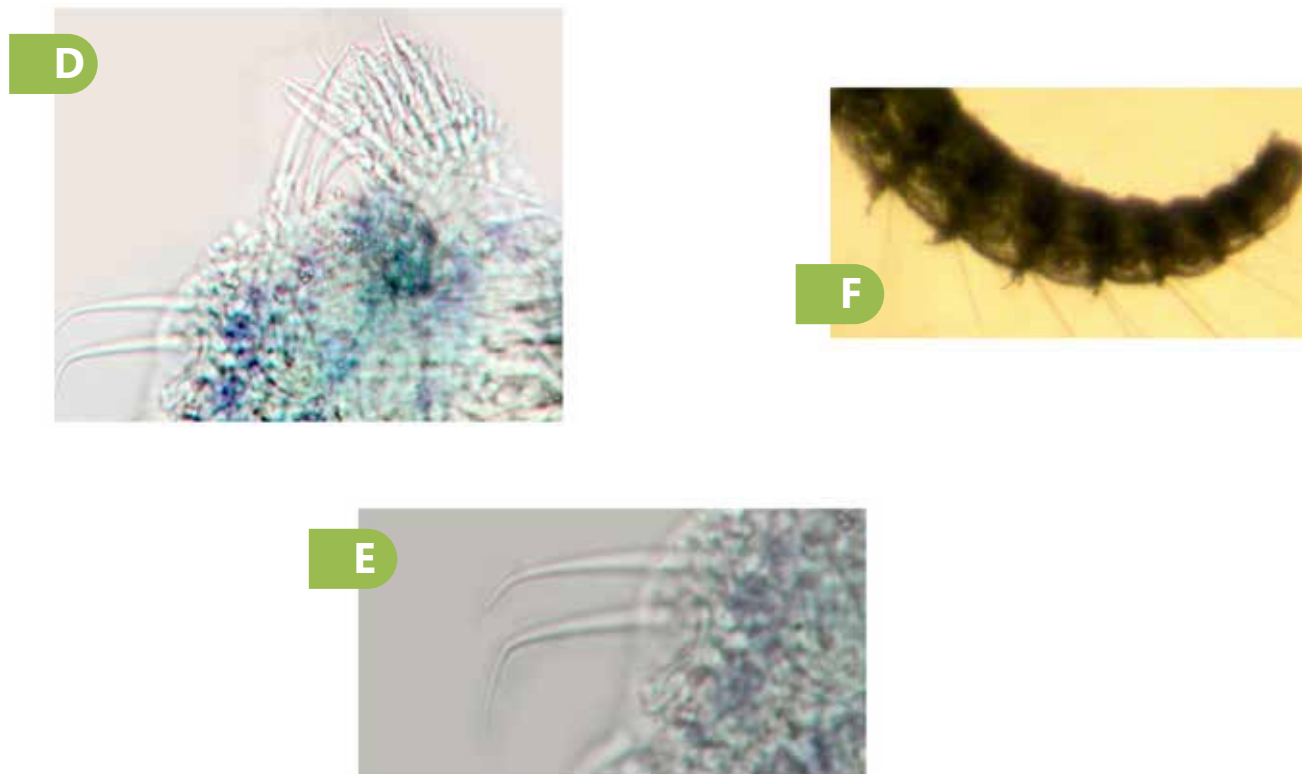


Figura 7.21. *Streblospio benedicti*: A. Organismo completo en vista lateral; B. Extremo anterior en vista ventral; C. Extremo anterior en vista dorsal; D-E. Setas capilares; F. Pigidio.

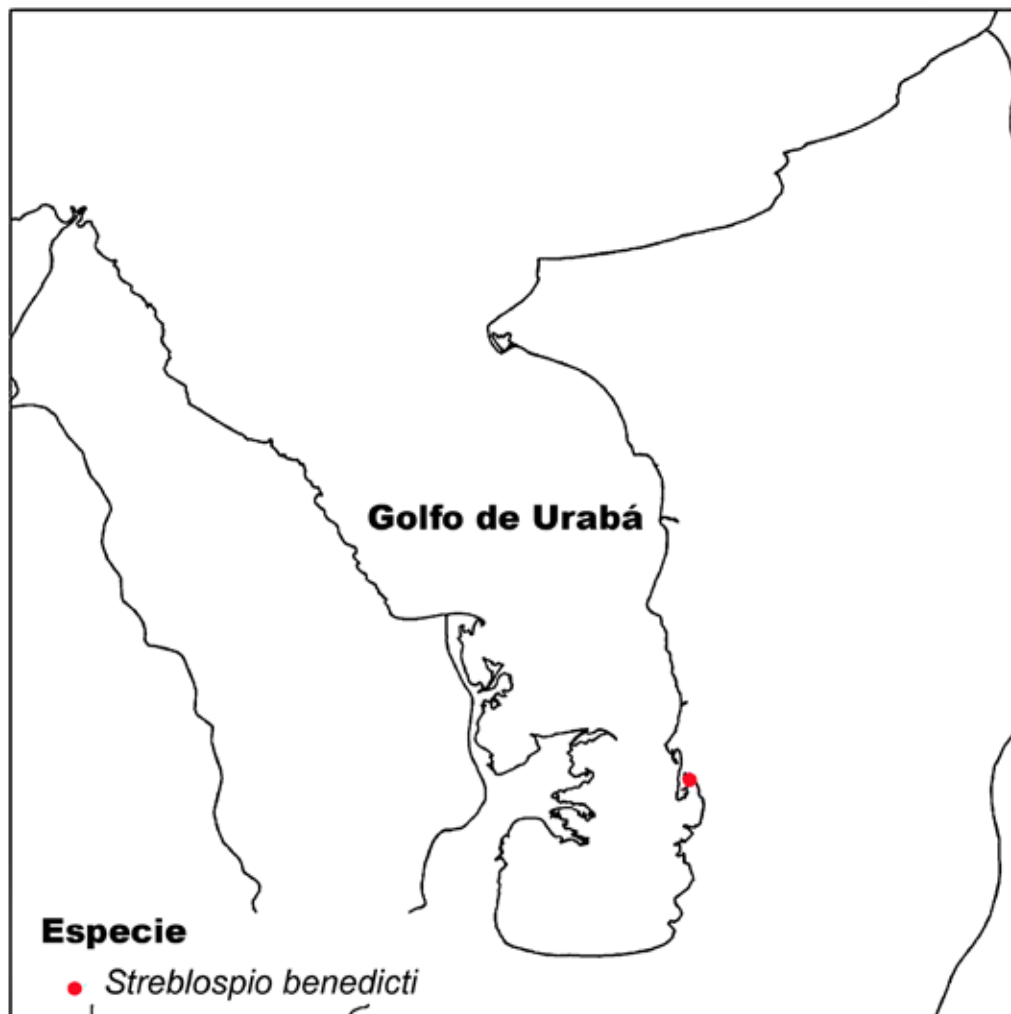


Figura 7.22. Mapa de distribución de *Streblospio benedicti* en el golfo de Urabá (punto rojo).

CONCLUSIONES

En el presente estudio se reportaron 11 especies de poliquetos, de las cuales 10 no habían sido reportadas para el Caribe colombiano, por lo que este trabajo amplía el listado de poliquetos para Colombia. Asimismo, de los 8 géneros encontrados, 4 (*Namalycastis*, *Stenoninereis*, *Ficopomatus* y *Boccardia*) son nuevos registros para Colombia.

A causa de que en este estudio quedaron especies no descritas, es decir, sin identificación a especie, se concluye que aún falta profundidad en el estudio taxonómico de los poliquetos de la región, y, en general, del Caribe colombiano. Esto se hace más evidente cuando se cuenta con una literatura especializada imprecisa, escasa y en ocasiones

contradictoria, pues ello ocasiona una dudosa identificación de ciertos especímenes estudiados. La distribución en la mayoría de las especies encontradas es muy amplia, lo cual generó dudas en la identificación taxonómica de los especímenes.

De acuerdo a los resultados obtenidos con respecto al número de especies de poliquetos, se considera baja la biodiversidad en el golfo de Urabá, específicamente en el tipo de sustrato trabajado, probablemente por el gran impacto antropogénico que caracteriza a estos ecosistemas en la región.

Por último, el muestreo demostró que los bosques de manglar son menos abundantes de lo esperado, distribuidos en áreas más reducidas, si se compara con lo que históricamente se ha registrado en literatura, así como en reportes previos.

AGRADECIMIENTOS

A todos los integrantes del proyecto *Expedición Estuarina-golfo de Urabá, Fase 1*. A la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Antioquia y a la Gobernación de Antioquia por el apoyo recibido. Agradecimientos especiales a Edgar Andrés Estrada y Ana María Gómez, por su

apoyo logístico durante la ejecución del proyecto; y a los colegas de las Universidades EAFIT y Nacional de Colombia, Sede Medellín, por promover un intercambio de conocimientos. Finalmente, a Vivian Solís-Weiss y Óscar Díaz-Díaz por sus valiosos comentarios.

REFERENCIAS

- Álvarez-León R, Laverde-Castillo JJA. 2003. *Poliquetos de la laguna sur de Chengue (Magdalena), Caribe colombiano*. Archivos de Ciencias de Mar, 36: 129-136.
- Arteaga-Flórez C, Fernández-Rodríguez V, Londoño-Mesa MH. 2014. *First record of Ficopomatus uschakovi (Pillai, 1960) (Annelida, Polychaeta, Serpulidae) in the Colombian Caribbean, South America*. Zookeys, 371: 1-11. doi: 10.3897/zookeys.371.5588.
- Arteaga-Flórez C, Londoño-Mesa MH. 2015. *Neréidos (Nereididae, Polychaeta, Annelida) asociados a mangle rojo, Rhizophora mangle, en islas de San Andrés y Providencia, Caribe colombiano*. Boletín de investigaciones Marinas y Costeras, Invemar, 44 (1): 163-184.
- Augener H. 1922. *Ueber litorale Polychaeten von Westindien*. Sitzungsberichte der Gesellschaft Naturforschender Freunde zu Berlin, 1922: 38-63.
- Augener H. 1933a. *Polychaeten aus den zoologischen Museen von Leiden und Amsterdam*. Zoologische Mededeelingen Leiden, 15: 177-260.
- Augener H. 1933b. *Polychaeten aus den zoologischen Museen von Leiden und Amsterdam*. Pt. II. Zoologische Mededeelingen Leiden, 16: 107-162.
- Augener H. 1934. *Polychaeten aus den zoologischen Museen von Leiden und Amsterdam*. Pt. IV. Zoologische Mededeelingen Leiden, 17: 67-160.
- Báez DP, Ardilla NE. 2003. *Poliquetos (Annelida: Polychaeta) del Mar Caribe colombiano*. Biota Colombiana, 4(1): 89-109.
- Bakken T, Wilson R. 2005. *Phylogeny of nereidids (Polychaeta, Nereididae) with paragnaths*. Zoologica Scripta, 34: 507-547.
- Blake JA, Kudenov JD. 1978. *The Spionidae (Polychaeta) from southeaster Australia and adjacent areas with a revision of the genera*. Memoirs of the National Museum of Victoria, 39: 171-280.
- Boesch DF. 1977. *A new look at the zonation of benthos along the estuarine gradient*. En: Coull BC (ed.), *Ecology of Marine Benthos*. University of South Carolina Press, Columbia, South Carolina.
- Bolaño J. 2005. *Anélidos poliquetos de fondos blandos de las zonas mesolitoral e infralitoral del golfo de Morrosquillo y su relación con parámetros físicos durante el período comprendido entre octubre de 2003 y marzo de 2004*. Trabajo de grado. Departamento de Biología. Universidad del Atlántico. Barranquilla.
- Bridges TS, Levin LA, Cabrera D, Plaia G. 1994. *Effects of sediment amended with sewage, algae, or hydrocarbons on growth and reproduction in two opportunistic polychaetes*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 177: 99-119.
- Chamberlin RV. 1919. *The Annelida Polychaeta (Reports of the Scientific Research Expedition Albatross)*. Memoirs of the Museum of Comparative Zoology, 48: 1-514.
- Dauer DM. 1993. *Biological criteria, environmental health and estuarine macrobenthic community structure*. Marine Pollution Bulletin, 26: 249-257.
- Dauer DM, Ranasinghe JA, Rodi AJ. 1992. *Effects of low dissolved oxygen levels on the macrobenthos of the lower Chesapeake Bay*. Estuaries, 15: 384-391.
- Dauer DM, Mahon HK, Sardá R. 2003. *Functional morphology and feeding behavior of Streblospio benedicti and S. shrubsolei (Polychaeta: Spionidae)*. Hydrobiologia, 496: 207-213.
- de León-González JA, Solís-Weiss V. 1997. *A new species of Stenoninereis (Polychaeta: Nereididae) from the Gulf of Mexico*. Proceedings of the Biological Society of Washington, 110(2): 198-202.
- de León-González JA, Solís-Weiss V, Valadez-Rocha V. 2001. *Two new species of Platynereis (Polychaeta: Nereididae) from Eastern Mexican shores*. Proceedings of the Biological Society of Washington, 114: 389-395.
- Dueñas PR. 1981. *Inventario preliminar de los poliquetos (Annelida) de aguas someras de la Bahía de Cartagena y áreas adyacentes*. Boletín Museo del Mar 10: 82-138.
- Dueñas PR. 1999. *Algunos poliquetos (Annelida) del Caribe colombiano*. Milenio, 1: 9-18.

- Ehlers E. 1887. *Reports on the results of dredging under the supervision of Alexander Agassiz, in the Gulf of Mexico (1877–78), and in the Caribbean Sea (1878–79), in the United States Coast Survey Steamer "Blake", Lieutenant-Commander C.D. Sigsbee, U.S.N., Commanding. Preliminary report on the worms.* Bulletin of the Museum of Comparative Zoology, 15: 237–253.
- Estcourt IN. 1967. *Ecology of Benthic Polychaetes in the Heathcote Estuary, New Zealand.* Journal of Marine and Freshwater Research, 1: 371-394.
- Fabricius O. 1780. *Fauna Groenlandica.* Hafniae et Lipsiae.
- García JM, Correa JC. 2006. *Macroinvertebrados y peces asociados a las raíces sumergidas del mangle rojo (Rhizophora mangle) en las Bahías de Turbo y El Uno, golfo de Urabá.* Corporación Académica Ambiental, Universidad de Antioquia. Medellín.
- García JM, Palacio J. 2008. *Macroinvertebrados asociados a las raíces sumergidas de Mangle Rojo (Rhizophora mangle) en las bahías Turbo y El Uno, golfo de Urabá (Caribe colombiano).* Gestión y Ambiente, 11: 55-66.
- Glasby CJ. 1999. *The Namanereidinae (Polychaeta: Nereididae). Part 1, Taxonomy and Phylogeny.* Records of the Australian Museum, Supplement, 25: 1-129.
- Glasby C J, Timm T, Muir AI, Gil J. 2009. *Catalogue of non-marine Polychaeta (Annelida) of the World.* Zootaxa, 2070: 1–52.
- Grube AE. 1862. *Noche in Wort über die Capitellen und ihre Stellung im Systeme der Anneliden.* Archiv für Naturgeschichte, Berlin, 28:366-378.
- Guzmán-Alvis A, Carrasco F. 2005. *Taxonomic aggregation and redundancy in a tropical macroinfaunal assemblage of the Southern Caribbean in the detection of temporal patterns.* Scientia Marina, 69:133-141.
- Guzmán-Alvis A, Latting P, Ruíz JA. 2006. *Spatial and temporal characterization of soft bottom polychaetes in a shallow tropical bay (Colombian Caribbean).* Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras, 35:19-36.
- Hartman O. 1944. *Polychaetous annelids.* Reports of Allan Hancock Atlantic Expeditions, 3:1-33.
- Hartman O. 1959. *Catalogue of the Polychaetous Annelids of the World. Parts 1 and 2.* Occasional Papers of Allan Hancock Foundation, 23:1-628.
- Hartmann-Schröder G. 1971. *Zur Unterscheidung von Neopomatus Pillai und Mercierella Fauvel (Serpulidae, Polychaeta).* (Mit neun Beiträgen zur Kenntnis der Ökologie und der Röhrenform von Mercierella enigmatica Fauvel). Mitteilungen aus dem Hamburgischen Zoologischen Museum und Institut, 67:7-27.
- Kingberg JGH. 1866. *Annulata nova.* Öfversigt af Kongliga Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar, 22:239-258.
- Kingberg JGH. 1867. *Annulata nova.* Öfversigt af Kongliga Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar, 23:337-357.
- Laverde-Castillo JA. 1992. *Occurrence of Grubeulepis westoni Pettibone (Annelida: Polychaeta: Eulepethidae) in the Colombian Caribbean.* Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betin, 21:131-134.
- Laverde-Castillo JA, Rodríguez-Gómez H. 1987. *Lista de los poliquetos registrados para el Caribe colombiano, incluyendo comentarios sobre su zoogeografía.* Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín, 17:95-112.
- Levin LA. 1986. *Effects of enrichment on reproduction in the opportunistic polychaete Streblospio benedicti (Webster): a mesocosm study.* Biological Bulletin, 171:43-160.
- Light WJ. 1978. *Invertebrates of the San Francisco Bay Estuary System.* Family Spionidae (Annelida, Polychaeta). The Boxwood Press, Pacific Grove, California.
- Londoño-Mesa MH, Polanía J, Vélez I." por Londoño-Mesa MH, Polanía J, Vélez, 2002. *Polychaetes of the mangrove-fouling community at the Colombian Archipelago of San Andrés and Old Providence, Western Caribbean.* Wetlands Ecology and Management, 10: 227-232.

- Long CD, Zottoli R. 1998. *Bahamian Polychaetes (Phylum Annelida, Class Polychaeta). Annotated List and Bibliography*. Fitchburg State College.
- Mahon AR, Mahon HK, Dauer DM, Halanych K. 2009. *Discrete genetic boundaries of three Streblospio (Spionidae, Annelida) species and the status of S. shrubsolei*. Marine Biology Research, 5:172-178.
- Marsh AG, Tenore KR. 1990. *The role of nutrition in regulating the population dynamics of opportunistic, surface deposit feeders in a mesohaline community*. Limnology and Oceanography, 35:710-724.
- Méndez N. 2006. Life cycle of *Capitella* sp. (Polychaeta: Capitellidae) from Estero del Yugo, Mazatlán, Mexico. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 86:263-269.
- Moreno P. 2002. *Taxocenosis Annelida-Mollusca-Crustacea de las raíces sumergidas de Rhizophora mangle L. en San Andrés, Caribe colombiano*. Tesis de grado. Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá.
- Palacio J. 1978. *Variación de la fauna de invertebrados del área estuarina de la Ciénaga Grande de Santa Marta en relación con los cambios de salinidad*. Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín, 10:11-126.
- Pardo EV, Dauer DM. 2003. *Particle size selection in individuals from epifaunal versus infaunal populations of the nereidid polychaete Neanthes succinea (Polychaeta: Nereididae)*. Hydrobiologia, 496:355-360.
- Pérez ME, Victoria C. 1978. *La taxocenosis Annelida-Mollusca-Crustacea, de las raíces sumergidas del mangle rojo en dos áreas costeras del Caribe colombiano*. Informe Museo del Mar, 21: 1-23.
- Perkins TH. 1984. *Revision of Demonax Kinberg, Hypsicomus Grube, and Notaulax Tauber, with a review of Megalomma Johansson from Florida (Polychaeta: Sabellidae)*. Proceedings of the Biological Society of Washington, 97:285-368.
- Pillai TG. 1960. *Some marine and brackish-water serpulid Polychaeta from Ceylon including new genera and species*. Ceylon Journal of Biological Science, 3:1-40.
- Pillai TG. 1971. *Studies on a collection of a marine and brackish-water polychaete annelids of the family Serpulidae from Ceylon*. Ceylon Journal of Biological Science, 9:88-130.
- Quiceno PA, Palacio JA. 2008. *Aporte al conocimiento de los macroinvertebrados asociados a las raíces del Mangle (Rhizophora mangle) en la ciénaga la Boquilla, municipio de San Onofre, Sucre*. Gestión y Ambiente, 11:55-66.
- Quirós-Rodríguez J, Dueñas-Ramírez P, Campos NH. 2013. *Poliquetos (Annelida: Polychaeta) asociados a algas rojas intermareales de Córdoba, Caribe colombiano*.
- Restrepo J. 2002. *El estado de los manglares de Colombia. Páginas 134-148*. En INVEMAR, Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: 2001. Serie de documentos generales. Santa Marta.
- Rioja E. 1923. *Anélidos poliquetos de San Vicente de Barquera (Cantábrico)*. Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales Serie Zoológica, 48:1-144. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 48(1): 87-98.
- Ritter C, Montagna PA. 1999. *Seasonal hypoxia and models of benthic response in a Texas bay*. Estuaries, 22:7-20.
- Rodríguez-Gómez H. 1979. *Poliquetos de aguas someras colectados en las islas del Rosario*. Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín, 11:27-29.
- Rodríguez-Gómez H. 1988. *Contribución al conocimiento de los Anélidos (Annelida: Polychaeta) de aguas someras en la Bahía de Nenguange Parque Nacional Natural Tayrona, Colombia Trianea*, 2:403-443.
- Romero-Murillo P. 2004. *Composición taxonómica y proceso sucesional de la fauna asociada a las raíces sumergidas de Rhizophora mangle (mangle rojo) de San Andrés Isla*. Tesis de grado. Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá.
- Romero-Murillo P, Polanía J. 2008. *Sucesión temprana de la taxocenosis Mollusca-Annelida-Crustacea en raíces sumergidas de mangle rojo en San Andrés Isla, Caribe colombiano*. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 43(1):63-74.

- Rouse GW, Pleijel F. 2001. *Polychaetes*. Oxford University Press Inc Oxford.
- Rutzler K, Feller IC. 1996. *Manglares del Caribe*. Barcelona. Investigación y Ciencia, 4:8-13.
- Salazar-Vallejo SI, de León-González JA, Salaices-Polanco H. 1989 (1988). *Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Libros Universitarios. La Paz, México.
- Salazar-Vallejo SI. 1996. *Lista de especies y bibliografía de poliquetos (Polychaeta) del Gran Caribe*. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología, 67 (1): 11-50.
- Sánchez-Páez H,, Álvarez LR, Pinto NF, Sánchez AA, Pino RL, García HI, Acosta PM. 1997. *Diagnóstico y zonificación preliminar de los manglares del Caribe de Colombia*. Ministerio de Medio Ambiente. Santa Fe de Bogotá D.C., Colombia.
- Sato M. 2013. *Resurrection of the genus Nectoneanthes Imajima, 1972 (Nereididae: Polychaeta), with redescription of Nectoneanthes oxypoda (Marenzeller, 1879) and description of a new species, comparing them to Neanthes succinea (Leuckart, 1847)*. Journal of Natural History, 47(1-2):1-50.
- Schmarda LK. 1861. *Neue wirbellose Thiere beobachtet und gesammelt auf einer Reise um die Erde 1853 bis 1857*. 1 Turbellarien, Rotatorien und Anneliden, 2:1-164.
- Schulze SR, Rice SA, Simon JL, Karl SA. 2000. *Evolution of poecilogeny and the biogeography of North American populations of the polychaete Streblospio*. Evolution 54(4):1247-1259.
- Ten Hove HA, Weerdenburg JCA. 1978. *A Generic Revision of the Brackish-Water Serpulid Ficopomatus Southern 1921 (Polychaeta: Serpulinae), Including Mercierella Fauvel 1923, Sphaeropomatus Treadwell 1934, Mercierellopsis Rioja 1945 and Neopomatus Pillai 1960*. Biological Bulletin, 154(1):96-120.
- Treadwell AL. 1934. *Sphaeropomatus miamiensis, a new genus and species of serpulid polychaete*. Journal of the Washington Academy of Science, 24:338-341.
- Uebelacker JM, Jhonson ML. 1984. *Taxonomic Guide to the Polychaetes of the Northern Gulf o Mexico*. Final Report to the Minerals Management Service, contract 14-12-001-29091. Barry A. Vittor and Associates. Inc., Mobile, Alabama.
- Webster HE. 1879. *Annelida Chaetopoda of the Virginian coast*. Transactions of the Albany Institute, New York, 9:202-269.
- Weisberg SB, Ranasinghe JA, Dauer DM, Schaffner LC, Díaz RJ, Frithsen JB. 1997. *An estuarine benthic index of biotic integrity (B-IBI) for Chesapeake Bay*. Estuaries, 20:149-158.

GLOSARIO

Abdomen:	Parte posterior del cuerpo, seguida del tórax.
Acícula (<i>pl.</i> acículas):	Seta gruesa de soporte encontrada internamente en la proyección de la rama parapodial.
Anóxica (anóxico):	Condición que indica la ausencia de oxígeno puro.
Antena (<i>pl.</i> antenas):	Proyección sensorial derivada de la superficie dorsal, lateral o frontal del prostomio.
Bentónico:	Relacionado al suelo marino o al fondo del mar.
Branquia (<i>pl.</i> branquias):	Extensión de la pared del cuerpo con un circuito de sistema vascular; usualmente bien equipado con vasos sanguíneos capilares.
Cabeza:	Estructura formada por la fusión de prostomio y peristomio.
Calcáreo:	Que contiene carbonato de calcio.
Carúncula:	Proyección desde la parte final del prostomio, llevando órganos nucleares.
Cirriforme:	De forma delgada y cilíndrica.
Cirro:	Apéndice parapodial; usualmente delgado y cilíndrico. =tentáculo.
Cirro dorsal:	Cirro normalmente situado en la parte de arriba del notópodo.
Collar:	Cobertura de la corona radiolar en Sabellidae y Serpulidae, y que rodea el cuerpo anteriormente.
Cónico:	En forma de cono.
Corona:	Ramificaciones simétricamente bilaterales en algunos poliquetos, formada por palpos peristomiales.
Corona branquial:	(<i>ver</i> "corona radiolar").
Corona radiolar:	Conjunto de apéndices elongados en la cabeza de Sabellidae y Serpulidae; usada para alimentación y respiración.
Cresta:	Parte superior de los uncinos aviculares.
Dentado:	Con dientes.
Digitiforme:	En forma de dedo.
Embudo:	Abertura del opérculo.
Espina (<i>pl.</i> espinas):	Seta gruesa acicular o en forma de lanza: puede ser recta o suavemente curvada. Pueden ser también ornamentaciones del opérculo en determinados grupos taxonómicos.
Espinígero:	Seta compuesta adelgazada distalmente en una punta fina.
Eurihalina (eurihalino):	Referente a organismos acuáticos capaces de vivir en amplios rangos de concentración de sales.
Falcígero:	Seta compuesta de una parte robusta y ápice como gancho.
Faringe eversible:	Parte de la faringe que puede ser extendida girando la parte interior hacia la exterior, = probóscide.
Foliosa:	Con aspecto de hoja.
Gancho:	Seta gruesa distalmente curvada, con o sin dientes cerca de la punta.
Heterogonfo:	Seta compuesta con articulación que realinea la punta oblicuamente al eje longitudinal del eje.
Homogonfo:	Seta compuesta con articulación que claramente realinea la punta en un ángulo recto con su eje mayor.
Lígula:	Lóbulo cónico comprimido del parápodo.
Lóbulos branquiales:	Labios ubicados en la base de la corona branquial en Sabellidae: pueden estar o no fusionados.
Manchas oculares:	Estructuras foto-sensibles en muchos grupos de poliquetos.
Mandíbulas:	Aparato masticatorio endurecido, situado en el probosis.

Manubrio:	Parte basal de los uncinos aviculares.
Membranas torácicas:	Pliegues delgados que se extienden desde la parte dorsal del cuello, hacia el lado ventral de la región posterior del tórax, en la mayoría de serpulidos.
Neurópodo:	Rama ventral del parápodo.
Notópodo:	Rama dorsal del parápodo.
Ojo:	Órgano foto-receptor usualmente ubicado en el prostomio.
Opérculo:	Tapón en el extremo anterior de algunos poliquetos tubícolas (que construyen tubos), que bloquea la abertura del tubo cuando el gusano se retrae.
Palpo (<i>pl.</i> palpos):	Estructuras sensoriales alargadas o en forma de cojín, derivadas de los lados de la cabeza.
Paragnatos:	Dentículos esclerotinizados en la faringe de Nereididae.
Parápodo:	Proyección lateral carnosa en los segmentos del cuerpo, usualmente llevando setas.
Parápodo birrámeo:	Parápodo con dos ramas: un notópodo y un neurópodo.
Parápodo sub-birrámeo:	Parápodo con el neurópodo bien desarrollado y el notópodo reducido.
Pecho:	Parte media de los uncinos aviculares.
Pectinas:	Serie de proyecciones en la faringe, dispuestas como los dientes de un peine.
Pedúnculo:	Estructura cilíndrica que sostiene el opérculo.
Peristomio:	Región presegmental del cuerpo rodeando la boca.
Pigidio:	Parte terminal del cuerpo rodeando el ano.
Probóscide:	Parte eversible del órgano bucal o faringe.
Prostomio:	Región más anterior y presegmental del cuerpo, algunas veces llevando ojos y antenas.
Radiolo:	Rama primaria en la corona tentacular en Sabellidae y Serpulidae.
Sesquinogonfo:	Seta compuesta con articulación que se encuentra entre el estado homogonfo y heterogonfo.
Seta:	Cerdas quitinosas que sobresalen de la pared del cuerpo.
Setas capilares:	Delgadas, a menudo largas, adelgazándose hacia una punta fina.
Setas falcadas:	Distalmente curvas.
Setas limbadas:	Setas en la familia Sabellidae que poseen limbos delgados o anchos.
Setígero:	Segmento que lleva setas.
Sub-acicular:	Por debajo de la acícula.
Supracicular:	Por encima de la acícula.
Tórax:	Región anterior del cuerpo.
Torsión:	Proceso dado en la familia Sabellidae, en donde las notosetas cambian de posición dorsal en el tórax, a una ventral en el abdomen, mientras que las neurosetas (uncinos) cambian de una posición ventral en el tórax, a una dorsal en el abdomen.
Uncinos:	Setas profundamente embebidas.
Uncinos aviculares:	Que poseen forma de cabeza de pájaro.
Ventral:	Superficie inferior del cuerpo.
Zona Intermareal:	Parte del litoral situada entre los niveles conocidos de las máximas y mínimas mareas.





CAPÍTULO

Algas y cianobacterias asociadas a las
raíces de *Rhizophora mangle*
en el golfo de Urabá

8



Algas y cianobacterias asociadas a las raíces de *Rhizophora mangle* en el golfo de Urabá

Kathleen Hurtado-Santamaría^{1,2} y Lizette I. Quan-Young^{1,3}

¹Grupo LimnoBasE y Biotamar (Limnología Básica y Experimental y Biología y Taxonomía Marina), Instituto de Biología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Antioquia, Medellín. Antioquia, Colombia. A.A. 1226. Calle 70 #52-21.

²kathleenhurtado@hotmail.com, ³lizettequan@yahoo.com

Resumen: Las raíces aéreas y troncos de los mangles ofrecen un sitio adecuado para la fijación de una variedad de especies de fauna y flora. Sin embargo, las macroalgas han sido menos estudiadas que la fauna, a pesar de que son una comunidad característica del sistema radical del mangle rojo, *Rhizophora mangle*. En el golfo de Urabá, las especies de mangles dominantes son *R. mangle* y *Avicennia germinans*, pero no existe ningún estudio sobre las macroalgas asociadas. Con el objetivo de crear un inventario de la riqueza y describir las especies de este grupo asociado a las raíces de *R. mangle*, se tomaron muestras en 13 localidades y 40 estaciones, distribuidas en el golfo de Urabá. En cada estación se cortaron entre 1 y 5 raíces no afianzadas al sustrato, y se guardaron en bolsas plásticas con formol al 10% y con agua del medio; en el laboratorio se separaron las macroalgas de la corteza y se conservaron en frascos con formol al 4%. Se realizaron observaciones morfológicas y se utilizaron claves y descripciones taxonómicas. Se identificó un total de 19 especies asociadas a raíces de *R. mangle* y 6 asociadas a otros sustratos, correspondientes a las Divisiones Rhodophyta (9 especies), Chlorophyta (4), Cyanophyta (4) y Bacillariophyta (2). Los géneros más conspicuos en este estudio fueron *Lyngbya*, *Schizothrix*, *Bostrychia* y *Caloglossa*. A primera vista, la diversidad encontrada parece baja, pero autores anteriores han mencionado que estos valores bajos de riqueza, pueden ser el resultado de las variaciones diarias y estacionales de salinidad que causan estrés en ecosistemas estuarinos. Este estudio contribuye de manera significativa al conocimiento de la *flora algal* asociada a raíces de mangle, ya que representa el primer trabajo para el Caribe colombiano. Este grupo tiene un gran potencial para los estudios de bioindicación como se ha establecido en el Pacífico colombiano.

Abstract: The aerial roots and trunks of mangroves offer a suitable substrate for a variety of fauna and flora. However, the macroalgae have been less studied than fauna, despite of their conspicuousness on red mangrove, (*Rhizophora mangle*) aerial roots. In the Gulf of Urabá, *R. mangle* and *Avicennia germinans* are the most abundant species, but there are not studies about the associated macroalgae. With the aim of studying macroalgae richness associated to *R. mangle*, samples from 13 localities, and 40 sites distributed in the Gulf of Urabá were taken. In each site 1 to 5 roots not fixed to the substratum were cut, and then kept in plastic bags with 10% formalin; in laboratory, algae were separated from the mangrove crust, and fixed with 4% formalin. Morphologic observations were done; for identification taxonomic keys and descriptions were used. A total of 19 species were identified associated to *R. mangle*, nine of which correspond to the Division Rhodophyta, four to Chlorophyta, four to Cyanophyta and two to Bacillariophyta; additionally 6 species associated to other substrates were registered. The most conspicuous genera in this study were *Lyngbya*, *Schizothrix*, *Bostrychia* and *Caloglossa*. At first impression, the diversity found seems to be low, but previous authors have mentioned that low richness values can be the result of the daily and seasonal variations of salinity, that cause stress in estuarine ecosystems. This study contributes significantly to the knowledge of the *algal flora* associated to mangrove roots, since it represents the first research in the Colombian Caribbean. This group would be useful in bioindication studies as established in the Colombian Pacific.

INTRODUCCIÓN

El término *algas* incluye organismos procariotas y eucariotas, generalmente acuáticos, fotoautótrofos (con clorofila *a* y otros pigmentos), que producen oxígeno y representan la base de la cadena trófica en ambientes acuáticos; son morfológicamente menos complejos que las plantas terrestres "superiores", ya que sus células no se diferencian en tejidos y no tienen raíces, tallos, ni hojas verdaderas. Se les conoce como talofitos, por poseer una organización de talo con fronde, estipe, rizoides o hapterios (Lee, 2008). Dentro de este grupo se incluyen organismos muy diversos estructural y funcionalmente. En cuanto a la morfología, las algas presentan tres grados de complejidad y/o evolución: 1) unicelulares o coloniales; 2) filamentosas o sifonales; y 3) con estructura compleja.

Para su identificación se utilizan claves dicotómicas o descripciones de algas de la región. Unas pocas especies pueden ser identificadas sin la ayuda de microscopio; sin embargo, generalmente se requiere estereoscopio o microscopio compuesto; para poder realizar la identificación al nivel de especie, además, puede ser necesario realizar cortes, e incluso algunas veces se recomienda teñir con azul de anilina para obtener un mayor contraste en las estructuras observadas. Para las algas calcáreas puede ser necesario decalcificar, con la ayuda de ácido clorhídrico (HCl) al 10%. Además de los aspectos morfológicos, citológicos y reproductivos, recientemente se han incorporado más características, que incluyen aspectos ecológicos, bioquímicos y moleculares para lograr una mejor identificación y clasificación.

Las algas son un grupo muy diverso, con gran importancia para el planeta, pues tienen un rol importante como base de la cadena alimenticia (trófica) y participan en la producción de oxígeno, en el ciclo del carbono, en la fijación de nitrógeno; y son organismos simbiotes de cnidarios (e.g. corales y anémonas), moluscos y hongos (formando líquenes). También son usados como alimento y como suplemento alimenticio, como fuente para la extracción de agar y carragenanos,

y como especies indicadoras (Pulz y Gross, 2004). Las macroalgas asociadas a manglares se distribuyen a lo largo de amplios gradientes de salinidad, desde agua dulce hasta agua marina, y se encuentran sujetas a una amplia variación de temperatura, desecación y cambios en los niveles de nutrientes. Se ha reportado que las algas epífitas aportan cerca de 10,5 toneladas/año de materia orgánica en un manglar (Steinke y Naidoo, 1990). Las algas se incrustan sobre los troncos bañados por las mareas, y poseen adaptaciones que les han permitido sobrevivir y reproducirse dentro de este ambiente; desarrollando mecanismos estructurales y fisiológicos que les confieren una marcada tolerancia a esas condiciones (Tejada, 2007).

Así como hay un gran número de organismos tales como insectos, crustáceos, poliquetos y moluscos asociados a los árboles de mangle (Prahl, 1989), éstos también ofrecen un ambiente apropiado para el crecimiento de una *flora algal* típica (Taylor, 1959). Particularmente, el sistema radical sumergido de *R. mangle* presenta con frecuencia una comunidad característica de algas adaptadas, tanto a la fuerte competencia por espacio con otros organismos, como a la sombra que proyecta la porción aérea del mangle.

El golfo de Urabá es un mosaico de ecosistemas costeros y marinos, que incluye manglares, humedales costeros y parches coralinos, entrelazados con ecosistemas continentales, como el bosque húmedo tropical y los bosques de cordillera (García-Valencia, 2007). Por tanto, tiene el potencial de albergar una gran diversidad de algas, que aún no han sido estudiadas. El objetivo de esta investigación fue crear un inventario y describir las especies de algas asociadas a las raíces del manglar; y establecer su distribución dentro del golfo de Urabá.

Así pues, esta investigación fue realizada en el marco del proyecto "*Expedición Estuarina-golfo de Urabá, fase 1*", con fondos de la Gobernación de Antioquia y participación de investigadores de las universidades de Antioquia, Nacional de Colombia y EAFIT.

ANTECEDENTES

Las primeras colectas de algas marinas del litoral Caribe de Colombia, reportadas en la literatura, fueron realizadas por Linden entre 1842-1843 y Schott en 1857 (Taylor, 1936, 1941; Schnetter, 1975). Posteriormente, los estudios de Díaz-Pulido y Bula-Meyer (1997) aportaron 21 registros, para un total de 472 especies en la costa Caribe de Colombia. El estado de la taxonomía de las macroalgas marinas de Colombia fue presentado por Bula-Meyer (1998), quien hizo una revisión de toda la información obtenida hasta el año 1998 en el campo taxonómico de las macroalgas del Caribe y el Pacífico colombianos. Un estudio más reciente presentó 565 *taxa*, de algas marinas bénticas, de las regiones oceánicas y costeras del Caribe colombiano (Díaz-Pulido y Díaz-Ruiz, 2003).

De los primeros estudios de las algas del golfo de Urabá en la costa Caribe del noroeste chocoano de Colombia, se reportan 154 especies: 31 Chlorophyta, 19 Ochrophyta (clase Phaeophyceae) y 104 Rhodophyta. De éstas, 171 especies se registraron para el golfo de Urabá en el tramo Sapzurro-Acandí (Bula-Meyer y Schnetter, 1988). Más adelante, Díaz-Pulido y Díaz-Ruiz (2003) reportan para la Ecorregión Darién 217 especies: 5 Cyanophyta, 123 Rhodophyta, 28 Heterocontophyta (incluye Phaeophyceae) y 61 Chlorophyta.

A principios de los años noventa, varios autores realizaron estudios en varias partes del mundo acerca de la distribución de las macroalgas asociadas a los manglares, y su amplia tolerancia a variaciones de salinidad y desecación (Karsten et al. 1994a, 1994b; Broderick y Dawes 1998; Peña et al. 1999); especialmente porque esta tolerancia influye directamente sobre la productividad de las algas, y representa una importante fuente de carbono para los manglares (Mann y Steinke, 1988; Peña et al., 1999).

A partir de los estudios taxonómicos desarrollados en América Latina por diferentes autores, y desde hace varias décadas, se han podido dividir las especies de macroalgas asociadas al manglar en cinco regiones biogeográficas: Caribe, Atlántico

norte, Atlántico sur, Pacífico norte y Pacífico sur. En los manglares de América Latina las comunidades de macroalgas que existen pertenecen a las divisiones Chlorophyta (algas verdes), Ochrophyta con la clase Phaeophyceae (algas parda ó café) y Rhodophyta (algas rojas). También se han registrado cianobacterias, las cuales han logrado establecerse con éxito en áreas sombreadas dentro del bosque, creciendo de manera epífita sobre plántulas, en la corteza de la parte baja de los árboles y raíces de *Rhizophora* spp., y en los neumatóforos de *Avicennia* spp.; de esa manera se protegen del exceso de luz y desecación durante las mareas bajas (Tejada, 2005).

Para el Caribe se han reportado 109 especies de algas de manglar de las divisiones Chlorophyta, Ochrophyta (clase Phaeophyceae) y Rhodophyta, lo cual contrasta con las 62 especies reportadas para el Atlántico sur, 31 especies para el Pacífico sur, 21 especies para el Atlántico norte y 10 especies en el Pacífico norte (Cordeiro-Marino et al., 1992). En la Provincia Caribe, existen pocos estudios sobre las comunidades de macroalgas asociadas a *R. mangle*, entre los cuales está el de Miranda et al. (1988) en el noreste de Brasil, así como el inventario realizado por Suárez (1989) en la Isla de la Juventud (Cuba), quien encontró 70 especies de macroalgas asociados a *R. mangle*. En Laguna Joyuda, Puerto Rico, Rodríguez y Stoner (1990) identificaron ocho especies de macroalgas asociadas a *R. mangle*. Jansen et al. (2004) estudiaron la distribución vertical de las macroalgas adheridas a raíces de *R. mangle*, en dos áreas de manglares de la Isla San Luís, en Brasil, y reportaron 13 especies. Barrios et al. (2004) estudiaron 27 macroalgas que crecen sobre las raíces de *R. mangle* en el golfo de Santa Fe, estado de Sucre, Venezuela. Finalmente, Tejada (2007) estudió la ecofisiología de macroalgas asociadas a bosques de manglar y su distribución en Centro América.

En algunos de estos trabajos se describe la distribución vertical de las algas sobre los manglares rojos, en la zona intermareal, en la cual es común observar algas del género *Rhizoclonium*, seguido por especies de *Bostrychia*; otras especies

características de este medio pertenecen a los géneros *Caloglossa*, *Catenella*, *Murrayella*, *Caulerpa*, *Cladophoropsis*, *Polysiphonia*, *Centroceras*, *Wurdemannia*, *Vaucheria*, *Boodleopsis* y *Ulva* (Taylor, 1960). Además, aparecen especies que epífitan a otras macroalgas, principalmente filamentosas y foliosas de pequeña talla, muchas de ellas incluidas en los órdenes Ceramiales, Cladophorales y Bryopsidales (Menéndez y Menéndez, 2006). Adicionalmente, es común registrar cianobacterias creciendo de manera epífita sobre algas, plántulas, en la corteza de la parte baja de los árboles y raíces de *Rhizophora* spp., y en los neumatóforos de *Avicennia* spp. (Tejada, 2005).

Dentro de la costa Atlántica de América y el Caribe, Colombia es uno de los países latinoamericanos que mejor ha documentado sus ecosistemas de manglar en los últimos años (Araújo, 1997). Sin embargo, estos estudios se han enfocado en los elementos estructurales básicos de la vegetación de manglar; y es relativamente poco el conocimiento que se tiene con respecto a los aspectos funcionales (reclutamiento, flujos de energía y materia) de estos ecosistemas (Araújo y Vargas-Ángel, 2001), así como sobre la distribución que tienen en los diferentes sustratos que ofrece el manglar (Cutrim et al. 2004). Los manglares colombianos no pertenecen a un grupo

homogéneo de bosques, o a un tipo único de ecosistema; por el contrario, corresponden a un mosaico de diferentes unidades, cada una de las cuales parece funcionar de manera característica dentro de un amplio ámbito de clasificación. Por ello, actualmente se ha propuesto una descripción rigurosa de cada localidad para agrupar los bosques de acuerdo a sus características funcionales (Araújo y Vargas-Ángel, 2001).

Para el área del Pacífico, Baos-Estupiñán y Morales-Velasco (2007) investigaron las macroalgas asociadas a un manglar del Pacífico colombiano (Buenaventura); en tanto que Peña (2008) cuantificó la biomasa, dinámica estacional y espacial de una comunidad de macroalgas epífitas, asociada a las raíces del mangle en la bahía de Buenaventura; y encontró que el nivel de inundación mareal, y la distribución vertical en la raíz, parecen ser los factores de mayor influencia en las variaciones de la biomasa algal.

En síntesis, las investigaciones desarrolladas en el golfo de Urabá sobre ficología son pocas, y no existen publicaciones que específicamente describan, algas asociadas a bosques de manglar. Por tanto, esta investigación representa un primer acercamiento al conocimiento de la diversidad y abundancia de estas poblaciones algales, en los manglares de la región.

MÉTODOS

Método de campo

Se realizaron muestreos en dos fechas: Junio y Agosto de 2009. En cada uno de los muestreos se visitaron sitios diferentes (excepto 5 localidades que se visitaron en ambas fechas). Se tomaron muestras de raíces en todas las estaciones posibles, de acuerdo al acceso y la presencia o no de árboles de manglar.

En cada estación se obtuvieron entre 1 y 5 raíces no afianzadas al sustrato (figura 8.1a), de tres árboles distantes 50 m, uno del otro. Las muestras se guardaron en bolsas plásticas con formol al 10%; y fueron rotuladas, selladas y guardadas en neveras

plásticas, para luego ser transportadas al laboratorio para su posterior separación.

Método de laboratorio

Las raíces fueron lavadas con agua dulce y se dejaron un día en esta agua para retirar el exceso de formol. Luego, se procedió a separar las macroalgas (cuyos tamaños van desde 2 mm hasta unos cuantos centímetros) de la corteza de las raíces colectadas. De cada raíz, se extrajeron todas las algas observadas a simple vista con unas pinzas de relojero de punta fina (figura 8.1b), y bajo un estereomicroscopio (figura 8.1c). Las muestras fueron conservadas con

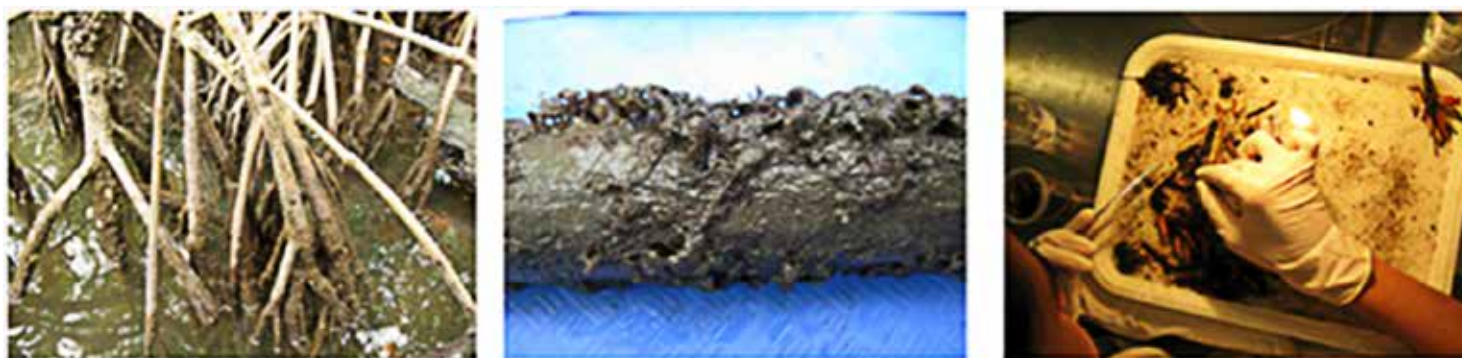


Figura 8.1. Obtención de muestras: a) raíces no afianzadas de *R. mangle*; b) raíz colectada con algas; c) separación de algas de corteza de raíz.

formol al 4%, en frascos plásticos oscuros para evitar la decoloración por la luz.

Para la identificación y diagnóstico a nivel de géneros y/o especies de macroalgas, se utilizó un estereomicroscopio y un microscopio compuesto; se emplearon las claves taxonómicas propuestas por Littler y Littler (2000), Abbot y Hollenberg (2007),

Guimarães et al. (2004), además de descripciones para macroalgas de la zona. Para las Cyanophyta y las diatomeas se utilizaron las claves de Drebes (1974), Prescott (1962) y Round et al. (1990). La organización sistemática se basó en los estudios de Wynne (2005), para las algas marinas bénticas del Atlántico este tropical y subtropical, y en la publicación electrónica actualizada *AlgaeBase* de Guiry y Guiry (2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron 19 especies de algas asociadas a las raíces de *R. mangle* (tabla 8.1), nueve algas rojas (Rhodophyta), cuatro verdes (Chlorophyta), cuatro cianobacterias (Cyanobacteria) y dos diatomeas (Heterokontophyta).

La riqueza reportada en este trabajo es baja en comparación a algunos estudios en la región Caribe. Suárez y Pérez (1989) encontró 70 especies para Cuba; Barrios et al. (2004), encontraron 27 especies, y Eizaguirre y Vera (2007) encontraron 29 especies, ambos para Venezuela. Sin embargo, en otros trabajos también se ha registrado un número similar e incluso menor de especies de algas. Rodríguez y Stoner (1990) encontraron 8 especies para Puerto Rico, y Cutrim et al. (2004) reportaron 13 especies para Brasil. En ese sentido, Tejada (2007) menciona que las variaciones diarias y estacionales de salinidad causan en todos los organismos de estuarios, condiciones extremas de estrés ambiental: provocando que

tanto en manglares tropicales como subtropicales existan diferentes poblaciones de macroalgas, que resultan relativamente pobres en número de especies si se comparan con las de ambientes marinos y de aguas continentales.

Junto con *Lyngbya* y *Schizothrix* (Cianobacterias), los géneros más comunes en este trabajo fueron *Bostrychia* y *Caloglossa*; los últimos, junto a especies del género *Catenella*, se han reportado como comunes y abundantes, formando el complejo "Bostrychietum" (Kapaun et al., 1983): asociación que se menciona como predominante en ecosistemas de manglar por un importante número de autores (Oliveira, 1984; Cutrim, 1998, Cutrim et al. 2004). Se ha mencionado que las algas de este complejo representan un grupo especializado de plantas epífitas de los tallos y las raíces de los mangles, o que pueden desarrollarse sobre sustratos dentro del ecosistema de manglar (Skelton y South 2002).

Tabla 8.1. Listado taxonómico de las algas asociadas a las raíces de *Rhizophora mangle* en el golfo de Urabá.

RHODOPHYTA	OCHROPHYTA	CHLOROPHYTA	CYANOBACTERIA
Florideophyceae	Xantophyceae	Ulvophyceae	Cyanophyceae
Ceramiales	Vaucheriales	Cladophorales	Oscillatoriales
Rhodomelaceae	Vaucheriaceae	Cladophoraceae	Oscillatoriaceae
<i>Bostrychia calliptera</i> (Montagne) Montagne	<i>Vaucheria</i> A.P. de Candolle	<i>Chaetomorpha</i> sp. Kützinger	<i>Lyngbya</i> sp. C. Agardh ex Gomont
<i>Bostrychia moritziana</i> (Sonder ex utzing) J. Agardh	Coscinodiscophyceae	<i>Cladophora laetevirens</i> (Dillwyn) Kützinger	<i>Oscillatoria</i> sp. Vaucher ex Gomont
<i>Bostrychia radicans</i> (Montagne) Montagne	Melosirales	Bryopsidales	Schizotrichaceae
<i>Polysiphonia scopulorum</i> var. <i>villum</i> (J. Agardh) Hollenberg	Melosiraceae	Derbesiaceae	<i>Schizothrix</i> sp. Kützinger ex Gomont
<i>Polysiphonia subtilissima</i> Montagne	<i>Melosira nummuloides</i> C. A. Agardh	<i>Derbesia</i> sp. Solier	Pseudanabaenales
Delesseriaceae	Bacillariophyceae		Pseudanabaenaceae Spirulin Turpin ex Gomont
<i>Caloglossa lepreurii</i> (Montagne) G. Martens	Bacillariales		
Stylonematophyceae	Bacillariaceae		
Stylonematales	<i>Nitzschia</i> sp. Hassall		
Stylonemataceae			
<i>Stylonema alsidii</i> (Zanardini) K.M. Drew			
<i>Stylonema cornu-cervi</i> Reinsch			

Para este trabajo se encontró que las microalgas, cianobacterias y diatomeas tienen un papel relevante en la diversidad algal del golfo de Urabá; éstas se habían reportado en su mayoría en sedimento de ecosistemas estuarinos (Hutchings y Saenger, 1987), pero no sobre las raíces de *R. mangle*; ya que en la mayoría de los trabajos sobre algas asociadas a *R. mangle* sólo se tienen en cuenta las macroalgas; se decidió incluir a las microalgas, cianobacterias y diatomeas, ya que se ha reportado que el fitoplancton y las comunidades de microalgas bénticas, hacen contribuciones importantes para el funcionamiento de los ambientes de manglar (Kathiresan y Bingham, 2001); además de que

las comunidades de fitoplancton en manglares pueden ser muy diversas, y la composición y la densidad de la comunidad planctónica se ven fuertemente afectados por las condiciones locales del medio ambiente (Lee, 1990).

Para 5 localidades se obtuvieron muestras, tanto en junio como en agosto, y la composición y riqueza fueron diferentes en estas dos fechas (figura 8.2); en junio se obtuvieron 14 especies y en agosto 17 especies. Estas diferencias están marcadas por *Cladophora laetevirens* y *Polysiphonia scopulorum* var. *villum*, las cuales sólo se registraron para el muestreo de junio y cada una se encontró sólo en una localidad. Las especies *Derbesia* sp., *Polysiphonia*

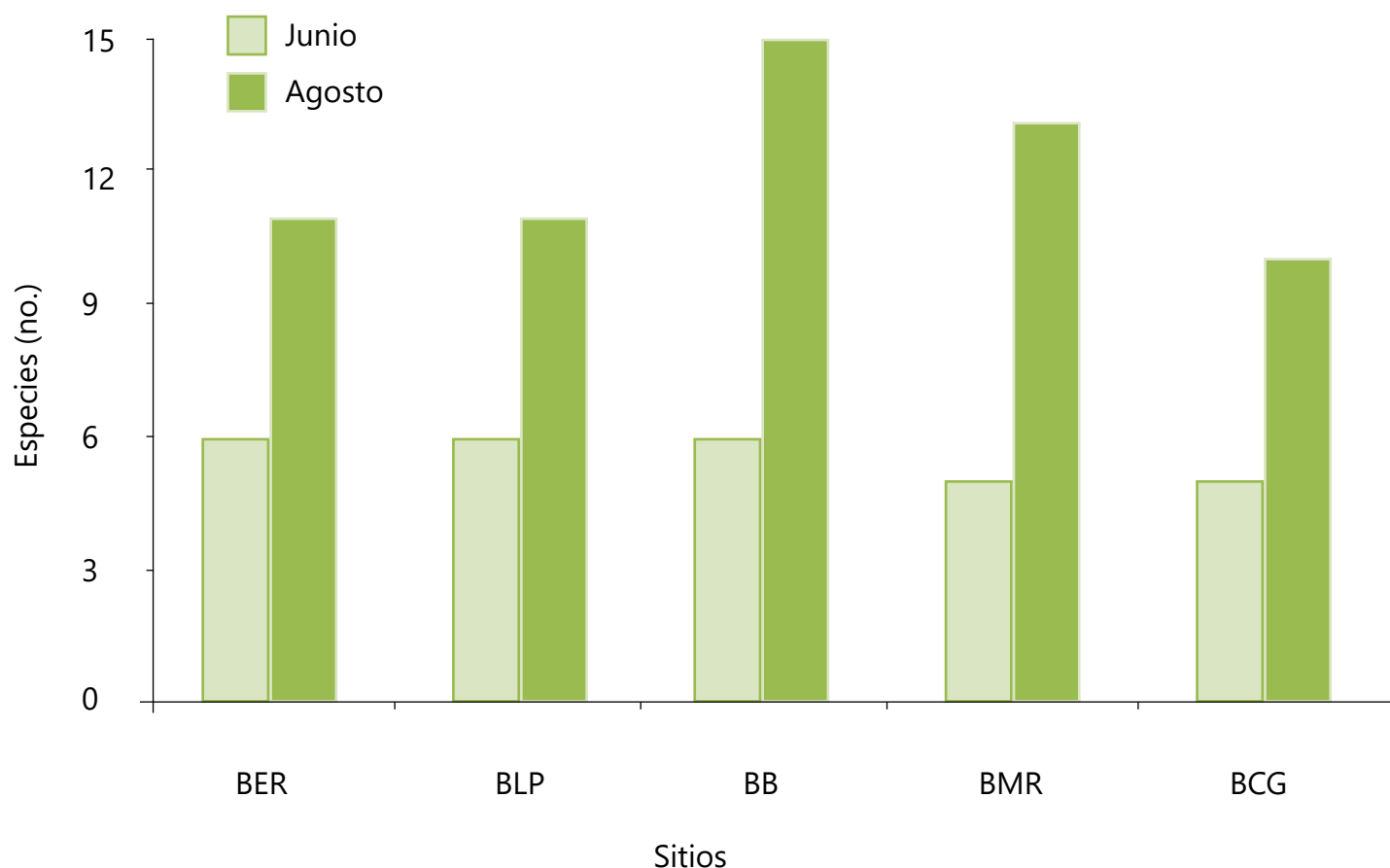


Figura 8.2. Riqueza de especies por localidad y fecha.

subtilissima, *Stylonema alsidii*, *Stylonema cornucervi* y *Vaucheria* sp., sólo se registraron para el muestreo de agosto. García-Valencia (2007) reporta el mes de junio como una etapa de transición de la época seca a la lluviosa, pero claramente junio más seco que agosto. Para el mes de junio, cuando se encontró menor riqueza y considerado por García-Valencia (2007) como época más seca, se registraron menores valores de salinidad, menores valores de oxígeno disuelto y temperaturas más estables; en tanto que el mes con mayor riqueza de especies (agosto), es considerada por este autor como época húmeda, con mayor salinidad, mayor concentración de oxígeno disuelto y temperaturas más variables.

Diagnos de especies

A continuación se presenta una diagnosis de cada una de las especies encontradas de las macroalgas asociadas a las raíces de *R. mangle*. Para ello se

emplearon las claves taxonómicas propuestas por Littler y Littler (2000), Abbot y Hollenberg (2007), Guimarães *et al.* (2004), además de descripciones para macroalgas de la zona; para las Cyanophyta y las Diatomeas se utilizaron las claves de Drebes (1974), Prescott (1962) y Round *et al.* (1990). La organización sistemática de las macroalgas rojas y verdes se basó en los estudios de Wynne (2005), para las macroalgas marinas bénticas del Atlántico este tropical y subtropical, primera y segunda revisión; y cianobacterias y diatomeas en la publicación electrónica constantemente actualizada *AlgaeBase* de Guiry y Guiry (2016).

En las observaciones para cada una de las especies se incluye información sobre especies cercanas y difíciles de diferenciar, de acuerdo a la literatura; además de características relevantes de las algas no incluidas en las descripciones en que se basó la identificación, y las propias de los especímenes identificados.

**Rhodophyta Florideophyceae,
Ceramiales, Rhodomelaceae
Bostrychia calliptera (Montagne) Montagne**
Figuras 8.3, 8.7a.

Algas de color púrpura a café; con las porciones basales del talo postrado, resto del talo erecto, con 6-11 cm de altura (figura 8.3a); ejes principales ramificados di-tricotómicamente, r mulas alternas (figura 8.3b); ejes principales con 6-8 células pericentrales; talo completamente polisif nico. Ejes principales generalmente corticados, r mulas no corticadas. Esporangios arreglados en estiquidios con dos hileras, con un corto

pedúnculo, lanceolados y ligeramente curvos (figura 8.3c).

Distribución: Encontrada en bahías El Rotico, Candelaria y La Paila (figura 8.7a). *Observaciones:* Esta especie difiere de *B. pinnata* por poseer los ejes principales generalmente corticados. Las estructuras de reproducción observadas fueron estiquidios tetrasporangiales.

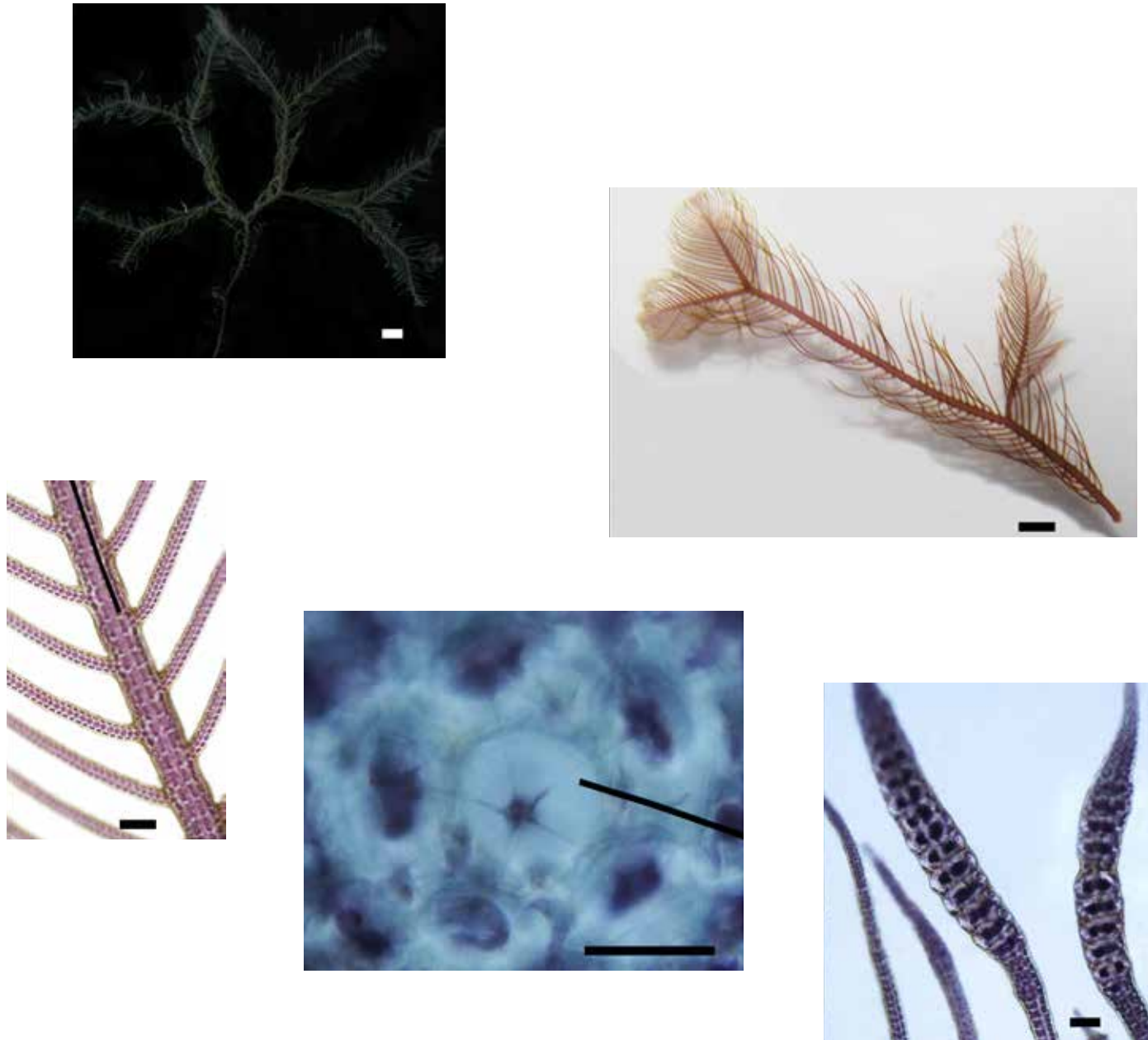


Figura 8.3. *Bostrychia calliptera*: a) hábito; b) ramificación de las ramas y r mulas; c) tetrasporangios.

Bostrychia moritziana
(Sonder ex Kutzing) J. Agardh
Figuras 8.4, 8.7b.

Talos enredados, finos, similar a un musgo, con hasta 5 cm de altura, de color rojo-café opaco (figura 8.4a), ramificación alterna, ramas de 75-100 μm , con 7-8 células pericentrales, sin corticación; r mulas alternas (figura 8.4b), de 20-50 μm de diámetro, 2 mm de largo, finas, uniseriadas, algunas veces polisif nicas en la base y curvas hacia arriba.

Estructura de fijación tipo hapterio. Estiquidios tetrasporangiales alargados con 200 μm de diámetro y hasta 900 μm de longitud (figura 8.4c). Común sobre raíces de mangle, ocasionalmente sobre rocas.

Distribución: Encontrada en bahías Yerbasal, El R tico, Candelaria, Cocogrande, Burrera, La Paila, Marirrío, Suriquí, punta Coquito y bahía El Uno (figura 8.7b).

Observaciones: Se observaron estructuras de reproducción tipo estiquidios alargados (con tetrasporas).



Figura 8.4. *Bostrychia moritziana*: a) hábito; b) ramificación; c) tetrasporangios.

***Bostrychia radicans* (Montagne) Montagne**

Figuras 8.5, 8.7c.

Talos enmarañados, finos, erectos o postrados, formando tapetes, similar a musgo, a veces con apariencia rastrera, de hasta 4 cm de altura, de color café púrpura a violeta oscuro (figura 8.5a), el color a menudo se va oscureciendo por el recubrimiento del lodo; ramificación regularmente alternada, a veces dicotómica en los ápices (figura 8.5b). Ramas de 150-200 μm de diámetro, de 6-8 células pericentrales, sin corticación. Rámulas pseudo-dicotómicas de 50-100 μm de diámetro, de 1-2 mm de largo, finas, a menudo curvadas; ápices de 30-40 μm de diámetro, uniseriadas, convirtiéndose rápidamente en polisifónicas.

El sistema de fijación puede ser tipo disco o tipo hapterio. Con tetrasporangios formados a lo largo, en series espiraladas debajo del ápice fuera de las ramificaciones. Cistocarpos esféricos u ovalados, terminal en la parte inferior de las ramificaciones. A menudo se encuentra en marismas o estuarios, en aguas salinas o salobres.

Distribución: Encontrada en bahías El Rotico, Candelaria, Cocogrande, Burrera, La Paila, Marirrí, Suriquí, punta Coquito y bahías Turbo y El Uno (figura 8.7c).

Observaciones: Se observaron estructuras de reproducción tipo Cistocarpos, desarrollándose, así como tetrasporangios.



Figura 8.5. *Bostrychia radicans*: a) hábito; b) ejes principales y rámulas; c) estiquidios.

Polysiphonia scopulorum* var. *villum
(J. Agardh) Hollenberg

Figuras 8.6, 8.7d.

Talos filamentosos, finos, que forman tapetes, de 0.5 (–3) cm de altura, de color rosado claro a café-rojizo; con ramificaciones alternadas (figura 8.6a). Ejes postrados de 60-100 (–200) μm de diámetro. Ejes erectos de 40-80 μm de diámetro con cuatro células pericentrales, segmentos de dos diámetros de largo (figura 8.6b); ramas laterales un poco más delgadas, sin corticación ni cicatrices celulares. Filamentos apicales deciduos, alternados cada 2-6 segmentos. Rizoides numerosos,

unicelulares, centrales y en conexión abierta con la célula parental (figuras 8.6c,d). Tetrasporangios tetraédricos esféricos, dispuestos en espiral por debajo de la célula apical. Ramificaciones con espermatangios cilíndricos formados sobre los filamentos apicales. Cistocarpos ovalados, de 150-190 μm de diámetro; carposporas ovaladas de 40 μm de diámetro, y 80 μm de largo. Comunes como epífitas de pastos marinos, corales y macroalgas.

Distribución: Encontrada en ensenada de Rionegro (La Ventanita, figura 8.7d).

Observaciones: los ejes erectos de los especímenes examinados oscilaron entre 60-100 μm de diámetro.



Figura 8.6. *Polysiphonia scopulorum* var. *villum*: a) hábito; b) ramificación; c) rizoides; d) acercamiento de los rizoides.

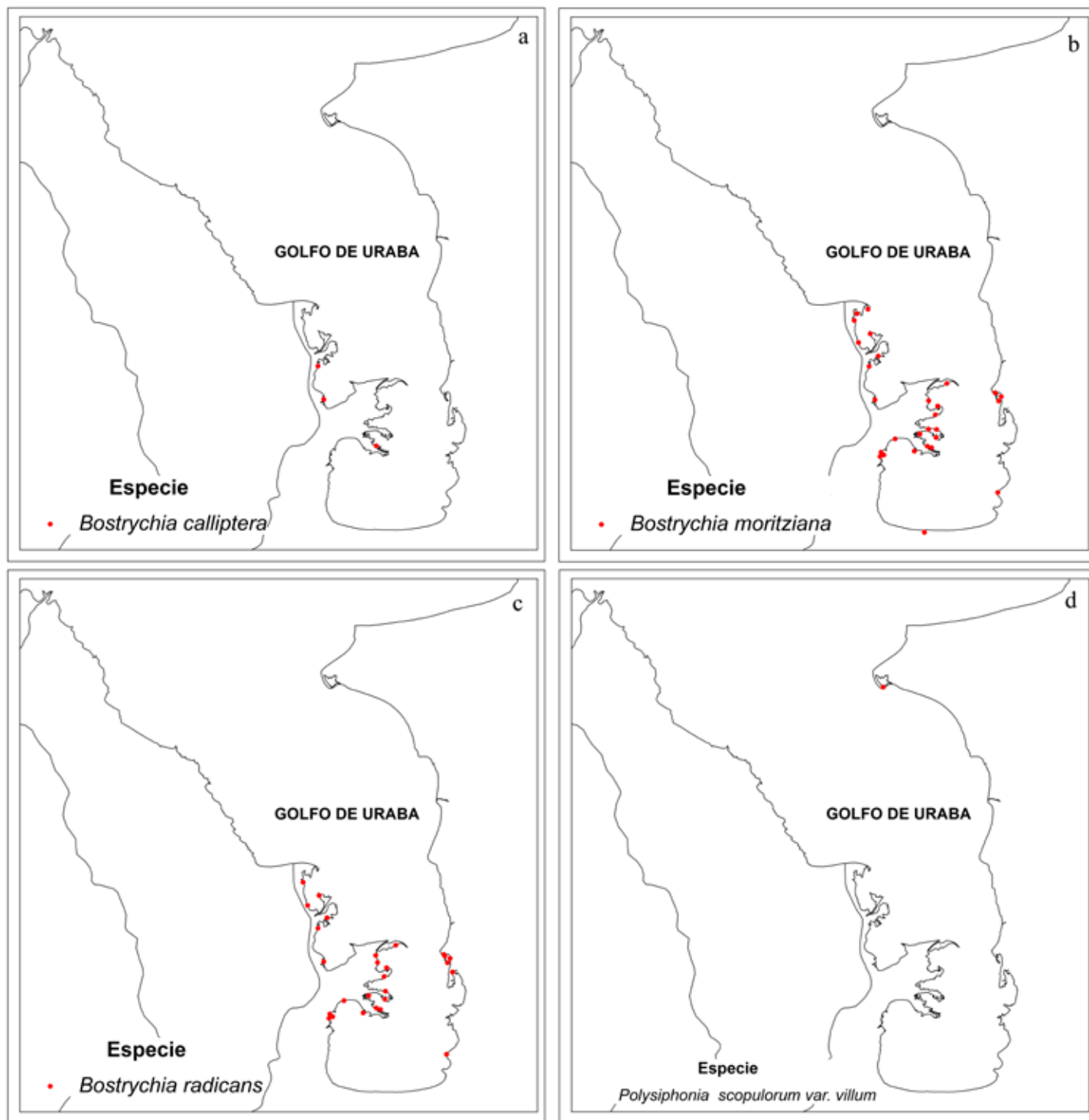


Figura 8.7. Mapas de distribución en el golfo de Urabá: a) *B. calliptera*; b) *B. moritziana*; c) *B. radicans*; d) *P. scopulorum var. villum*.

***Polysiphonia subtilissima* Montagne**

Figuras 8.8, 8.12a.

Plantas postradas, marrones oscuras, formando densos tapetes sobre las rocas o enredadas con otras algas (figura 8.8a). Segmentos no corticados más largos que anchos, con cuatro células pericentrales. Ejes postrados erectos dispuestos en varias direcciones y ejes postrados adicionales (figura 8.8b). Ejes postrados con 60-85 μm de diámetro, fijos por rizoides con conexión abierta (figura 8.8c). Ejes erectos ligeramente más estrechos que los postrados, ramificados, ramas substituyendo tricoblastos en secuencia del desarrollo del ápice. Tricoblastos por lo general ausentes o raros, cuando presentes cortos,

no ramificados. Tetrasporangios de 50 μm de diámetro, dispuestos en línea recta. Es común como epífita en raíces de manglar, en el intermareal.

Distribución: Encontrada en bahía Burrera (figura 8.12a).

Observaciones: Se encontraron estructuras de reproducción de tipo tetrasporangios organizados en estiquidios. Plantas pequeñas de *P. subtilissima* pueden ser confundidas con *P. atlantica* y *P. scopulorum*: estas últimas presentan los ejes postrados a partir del erecto y desarrollo unilateral de las ramas, mientras que *P. subtilissima* presenta un patrón radial de desarrollo de los ejes del sistema postrado.

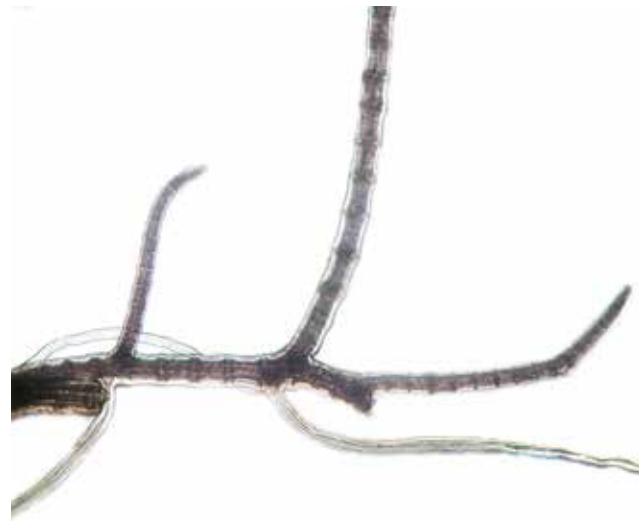


Figura 8.8. *Polysiphonia subtilissima*: a) hábito; b) eje erecto saliendo de un eje postrado; c) rizoides con conexión abierta.

Delesseriaceae***Caloglossa lepieurii* (Montagne) G. Martens**

Figuras 8.9, 8.12b.

Talos erectos o postrados que se extienden lateralmente alrededor de 3-5 cm, hasta 2 cm de altura, de color rojo púrpura a café (figura 8.9a). Láminas dicotómicas de forma lineal-ovalada. De 1-2 mm de ancho, de 1-6 mm de largo y de una célula de grosor (figura 8.9b). La nervadura central a menudo tiene varias células de espesor; con ápices puntiagudos ó bifurcados; presenta una célula apical prominente. Cistocarpos de 460-800 μm de diámetro (figura 8.9c), desarrollándose

desde la nervadura central en la parte inferior de la lámina. Común sobre raíces aéreas de mangle. Rizoides agrupados, en constricciones, ventral en la nervadura central. Tetrasporangios esféricos, de 45 μm de diámetro, desarrollándose desde la célula distal (figura 8.9d).

Distribución: Encontrada en bahías Yerbasa, El Rotico, Candelaria, Cocogrande, Burrera, La Paila, Marirrí, punta Coquito y bahía El Uno (figura 8.12b).

Observaciones: Se observaron estructuras de reproducción como: Cistocarpos maduros e inmaduros, así como tetrasporangios.

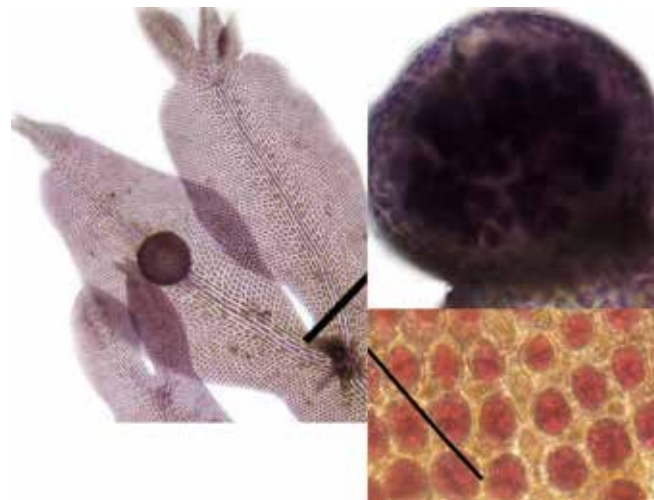


Figura 8.9. *Caloglossa lepieurii*; a) hábito; b) láminas mostrando la nervadura central; c) cistocarpos desarrollándose desde la nervadura central; d) tetrasporangios.

Stylonematophyceae

Stylonematales

Stylonemataceae

***Stylonema alsidii* (Zanardini) K.M. Drew**

Figuras 8.10, 8.12c.

Talos microscópicos, filamentosos de color rojo rosado, de 0.5-5 mm de largo; fijos por medio de un pequeño disco formado por la célula basal; ramificaciones pseudodicotómicas, filamentos generalmente uniseriados de 12-35 μm de

diámetro (figura 8.10a), encerrados en una cubierta mucilaginosa gruesa; las células más o menos cuadradas a cilíndricas, de 9-13 μm de diámetro, y 5-13 μm de longitud (figura 8.10b). Es común como epífita en una gran variedad de algas, desde el intermareal inferior al submareal (a 12 m).

Distribución: Encontrada en bahía Marirrío (figura 8.12c).

Observaciones: Los filamentos de los especímenes examinados oscilan entre 10-20 μm de diámetro.

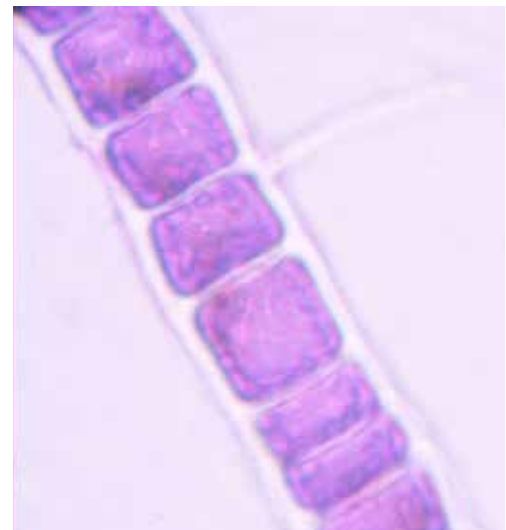


Figura 8.10. *Stylonema alsidii*: a) hábito; b) acercamiento de las células.

***Stylonema cornu-cervi* Reinsch**

Figuras 8.11, 8.12d.

Talos microscópicos, filamentosos de color verdoso oscuro, de 0.2-1.5 mm de largo; fijos por medio de un pequeño disco formado por una célula basal de 6-9 μm de diámetro y 7-14 μm de longitud; ramificaciones dicotómicas irregulares, filamentos usualmente uniseriados en la base y ápices, multiseriados en otras partes con las células irregularmente arregladas (figura 8.11a), de

15-19 μm de diámetro, encerrados en una matriz mucilaginosa; células redondas a ligeramente ovaladas (figuras 8.11b,c), de 4-8 μm de diámetro. Generalmente epífita, en el submareal (a 10 m).

Distribución: Encontrada en bahía Burrera (figura 8.12d).

Observaciones: Los especímenes observados midieron 50 μm de ancho en las zonas multiseriadas, y en las secciones uniseriadas 10-20 μm . Se observó reproducción por monosporas (figura 8.11d).

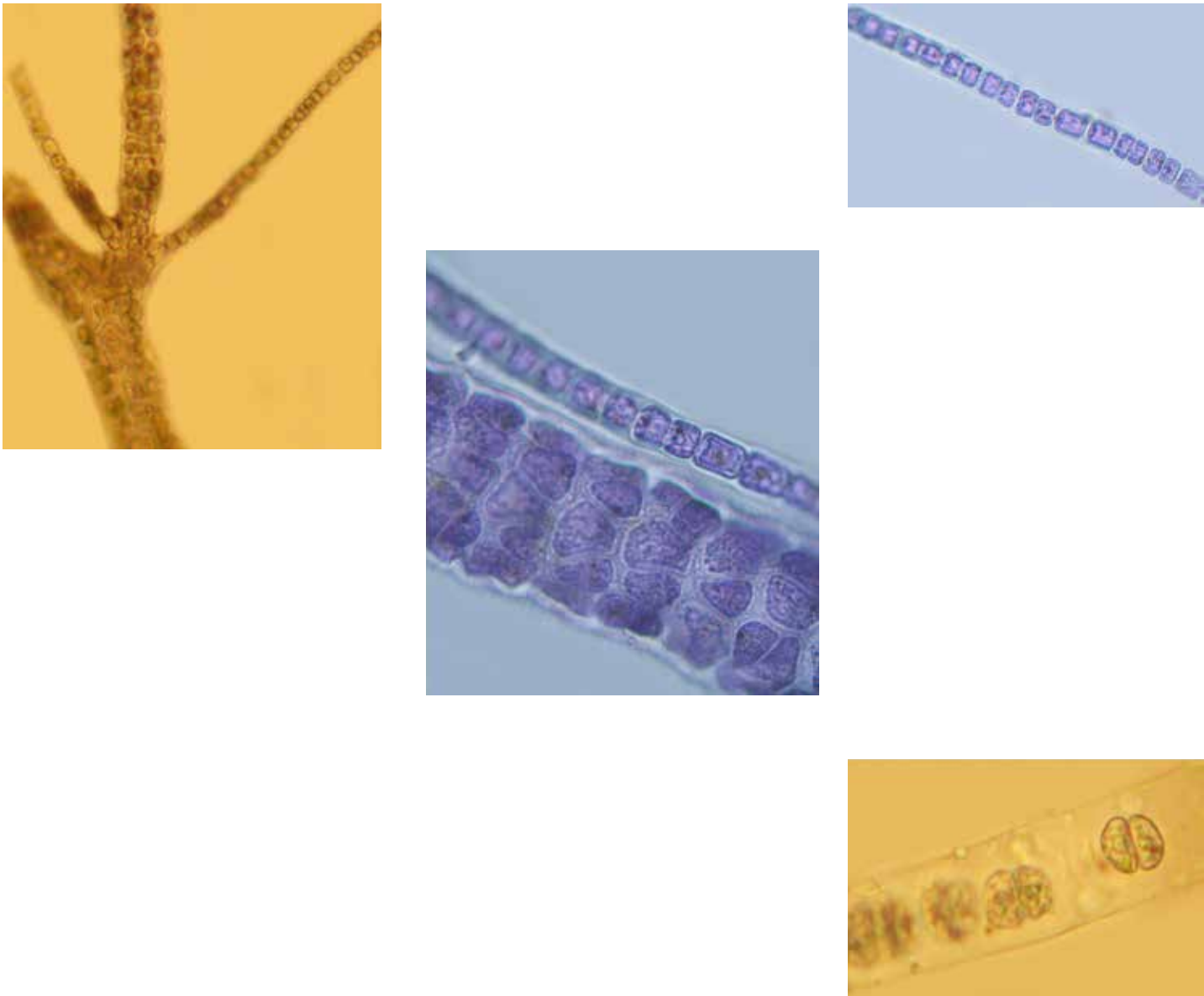


Figura 8.11. *Stylonema cornu-cervi*: a) hábito; b) filamentos uniseriados y multiseriados; c) acercamiento del filamento uniseriado; d) estructuras de reproducción por monosporas.

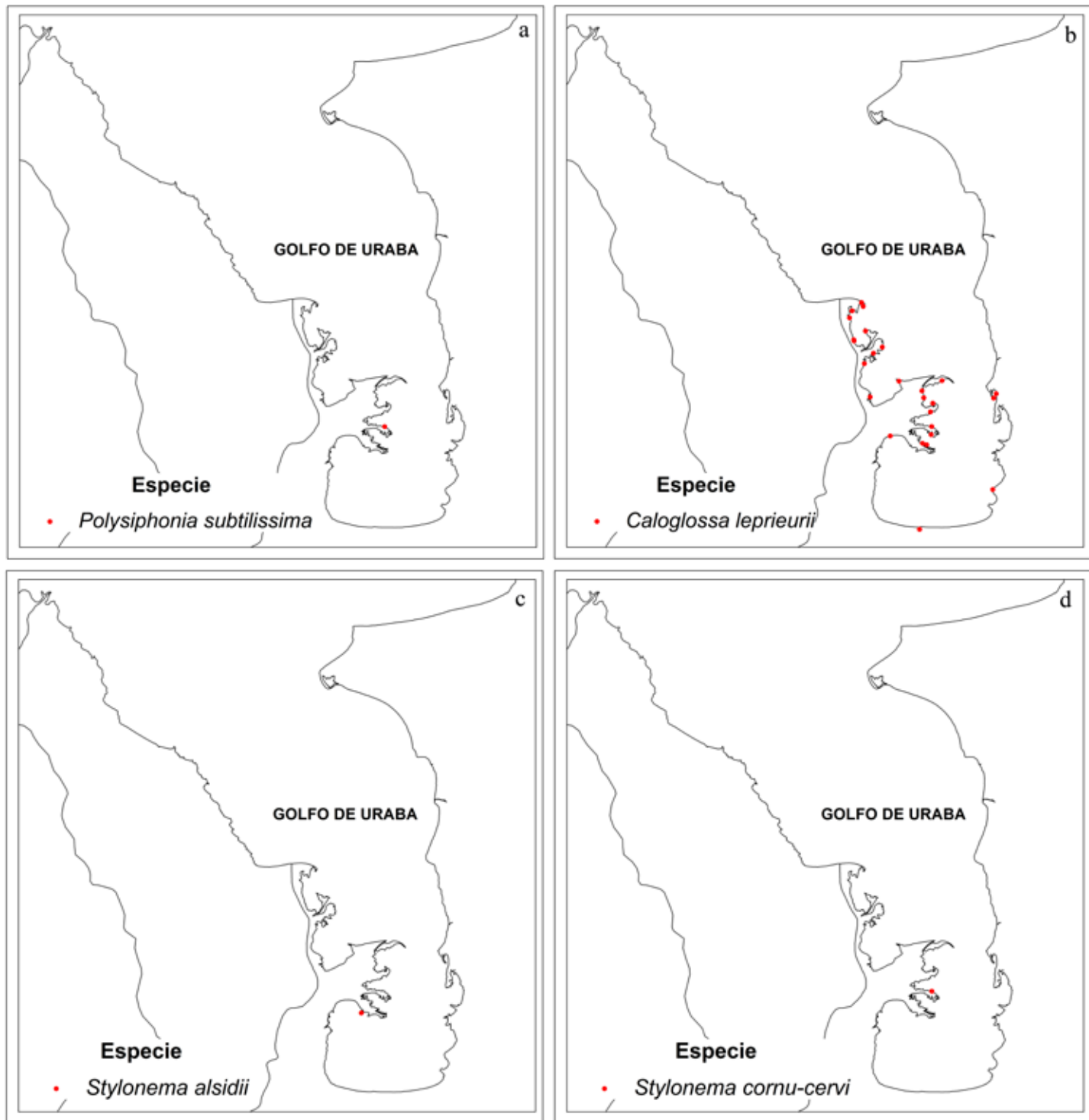


Figura 8.12. Mapas de distribución en el golfo de Urabá: a) *P. subtilissima*; b) *C. leprieurii*; c) *S. alsidii*; d) *S. cornu-cervi*

CHLOROPHYTA
Ulvophyceae
Cladophorales
Cladophoraceae
***Chaetomorpha* sp. Kützing**
 Figuras 8.13, 8.17a.

Filamentos uniseriados (figura 8.13a), no ramificados, ya sea erectos y unidos una célula basal de paredes gruesas (figura 8.13b), o sueltas sin células basales. Crecimiento difuso o generalizado, produciendo células cilíndricas o raras veces ovaladas, de 20-5000 μm de diámetro, dependiendo de la especie. Células tan anchas como largas o hasta diez veces más largo que

ancho (figura 8.13c). Cloroplasto por lo general cubre toda la superficie exterior del protoplasto, con numerosos pirenoides. Común en aguas marinas y salobres, rara vez en agua dulce; en las marismas o las comunidades de fondos blandos. Algunas especies comunes como filamentos sueltos enredados con otras algas.

Distribución: Encontrada en bahías El Rotico, Candelaria, Cocogrande, Burrera, La Paila, Marirrió, punta Coquito y bahía El Uno (figura 8.17a).

Observaciones: *Chaetomorpha* no está claramente diferenciada de *Rhizoclonium*, aunque este último suele tener células más pequeñas con menos núcleos; *Chaetomorpha* suele tener los ápices curvados.



Figura 8.13. *Chaetomorpha* sp.: a) hábito; b) estructura de fijación; c) células.

***Cladophora laetevirens* (Dillwyn) Kützing**
 Figuras 8.14, 8.17b.

Talos esponjosos, firmes, pueden formar tapetes con hasta 5 cm de altura (figura 8.14a), en áreas protegidas presentan talos poco densos de hasta 20 cm de altura, de color verde hierba a verde pálido; con ramificacionesseudodicotómicas oseudotricotómicas en la región basal, unilaterales en regiones apicales (figura 8.14b), casi siempre

con una sola rama, ocasionalmente dos, raramente tres. Filamentos rectos o ligeramente curvados; células cilíndricas, ligeramente ensanchadas en los extremos distales, de 50-100(-205) μm de diámetro, de 3.5-11 diámetros de largo (figura 8.14c). Rizoides finos, formados desde las células basales o adyacentes. Común en lagunas de manglares.

Distribución: Encontrada en caño La Marimonda (figura 8.17b).



Figura 8.14. *Cladophora laetevirens*; a) hábito; b) ramificaciones; c) filamentos.

Bryopsidales
Derbesiaceae
***Derbesia* sp. Solier**
 Figuras 8.15, 8.17c.

Talos de dos formas diferentes, 1) ramificada en fase de sífon (esporofito), con escasos a densos sífones erectos, a veces con apariencia de cepillo de 3 (-5) cm de alto (figura 8.15a), derivados de sífones rizoidales (perenne al menos en una especie); y 2) fase vesicular (gametofito), consiste en una vesícula esférica a piriforme de 3 cm o más de diámetro, con muy cortas y delgadas estructuras de anclaje. Género con amplia distribución geográfica, el rango latitudinal se extiende desde zonas tropicales hasta aguas árticas. La fase

filamentosa común creciendo sobre las piedras o las paredes protegidas cerca de la línea de marea baja, y sobre las algas carnosas, conchas o esponjas hasta los 22 m; la fase vesicular crece hasta los -18 m y se puede encontrar por separado o en grupos en la zona sombreada, en cuevas, bajo salientes, y sobre algas del género *Lithothamnion*.

Distribución: Encontrada en bahías Burrera y El Uno (figura 8.17c).

Observaciones: Los ejemplares encontrados siempre en forma de filamentos sífónicos (figuras 8.15b,c), se observaron estructuras de reproducción tipo esporangios entre 100-200 μm de diámetro (figura 8.15d).

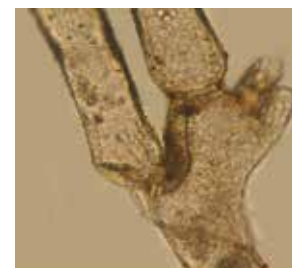
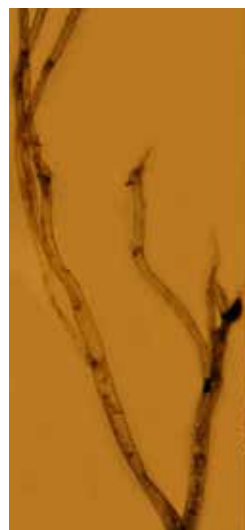
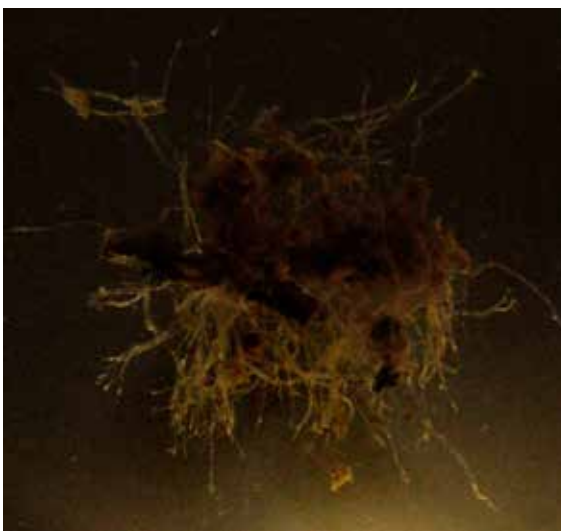


Figura 8.15. *Derbesia* sp.: a) hábito; b) ramificación; c) acercamiento de la ramificación; d) esporangios

OCHROPHYTA
Xantophyceae
Vaucheriales
Vaucheriaceae
***Vaucheria* sp. A.P. de Candolle**
 Figuras 8.16, 8.17d.

Es el único género de la familia Vaucheriaceae, tiene sifones cilíndricos entrelazados, y poco ramificados, que pueden formar tapetes rastreros o cojines (figura 8.16a), de color verde hierba a verde oscuro, sifones con 10-200 m de diámetro, con ramificación lateral, a veces con rizoides sifonales incoloros (figura 8.16b). Las células con numerosos cloroplastos parietales discoidales. Género ampliamente distribuido en agua dulce

o salina, en todos los continentes: sumergidos, semiemergentes o terrestres; desde el intermareal hasta el sublitoral, común en manglares, esteros, arroyos, canales, tierras de cultivo, en lagos y márgenes de estanques, y en casi cualquier humedal.

Distribución: Encontrada en bahías Candelaria, Cocogrande, La Paila, Burrera, Marirrí, Turbo y El Uno (figura 8.17d).

Observaciones: Los especímenes examinados oscilan entre 50-100 μm de diámetro (figuras 8.16c,d). Se observó estructura de reproducción tipo anteridio (figura 8.16e).

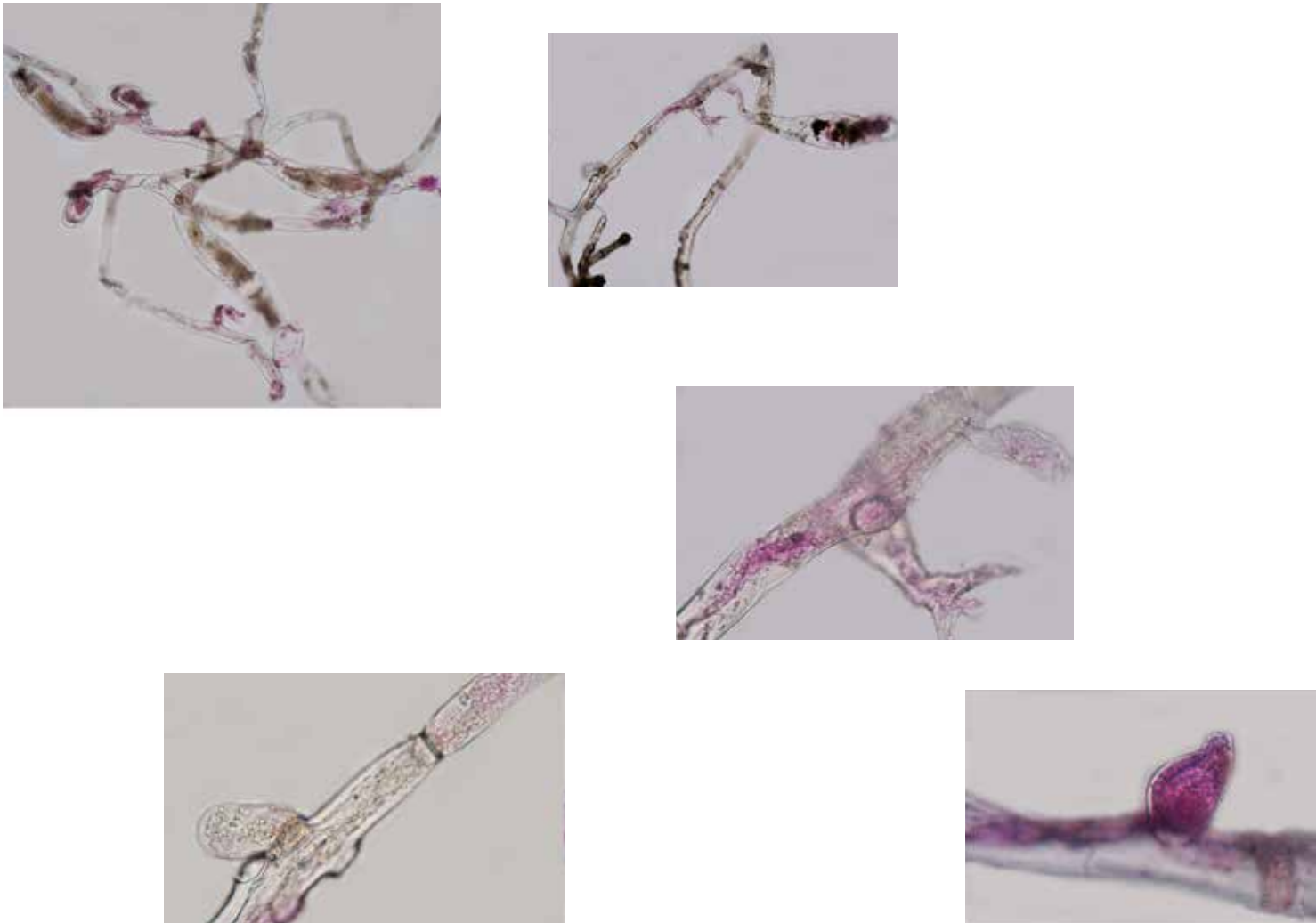


Figura 8.16. *Vaucheria* sp.: a) hábito; b) sifones o filamentos; c) rizoides; d) células; e) anteridio.

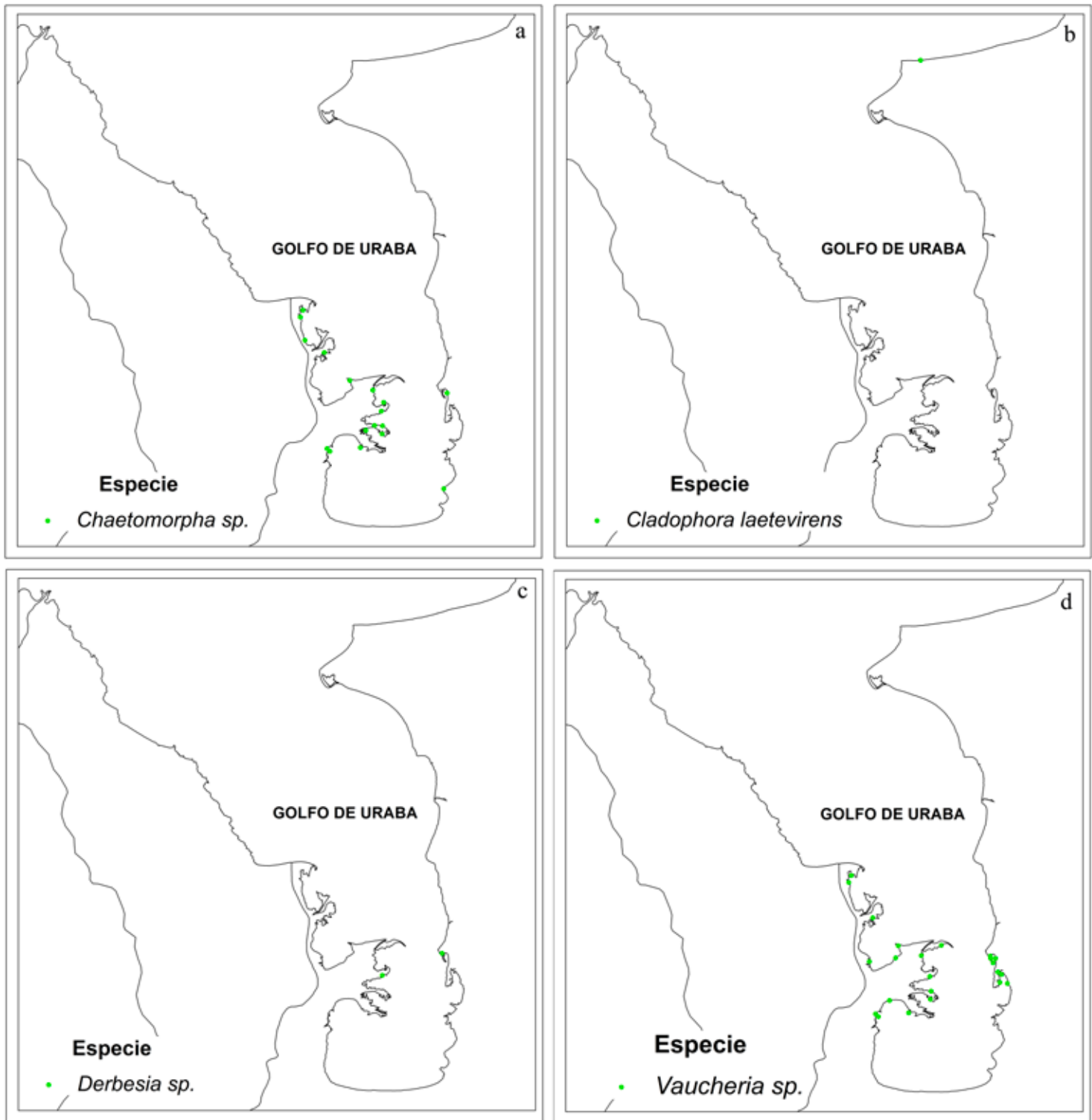


Figura 8.17. Mapas de distribución en el golfo de Urabá: a) *Chaetomorpha sp.*; b) *C. laetevirens*; c) *Derbesia sp.*; d) *Vaucheria sp.*

BACILLARIOPHYTA
Coscinodiscophyceae
Melosirales
Melosiraceae
***Melosira nummuloides* C. A. Agardh**
 Figuras 8.18, 8.22a.

Células cilíndricas a subsféricas de color café-amarillento, unidas en filamentos rodeados de mucílago (figura 8.18a); además de espinas irregulares que pueden ayudar a la unión. Las células están unidas claramente en parejas (figuras 8.18b,c) o tríos por su cíngula. Cara de la valva plana o ahuecada, cubiertas de pequeñas espinas o gránulos; a veces con una corona más o menos desarrollada que consiste en grandes espinas irregulares. Aquélla puede estar rodeada por una estructura plana tipo collar. El manto de la

valva no es fácilmente distinguible de la cara de la valva en la mayoría de las especies. La estructura de la valva está dividida en cavidades (loculada), el lóculo empieza la superficie interna con poros un poco más grandes, que pueden estar parcial o totalmente unidos por "puentes" de sílice. Se puede encontrar pelágica o adherida a gran diversidad de organismos y sustratos marinos.

Distribución: Encontrada en bahías El Rotico, Candelaria, Cocogrande, Burrera, La Paila, Marirrí, punta Coquito y bahías Turbo y El Uno (figura 8.22a).

Observaciones: En los ejemplares revisados las células estaban siempre en pares nunca de a tres; se encontró como epífita de *Bostrychia moritziana*, *B. radicans*, *Caloglossa leprieurii*, *Polysiphonia subtilissima*.

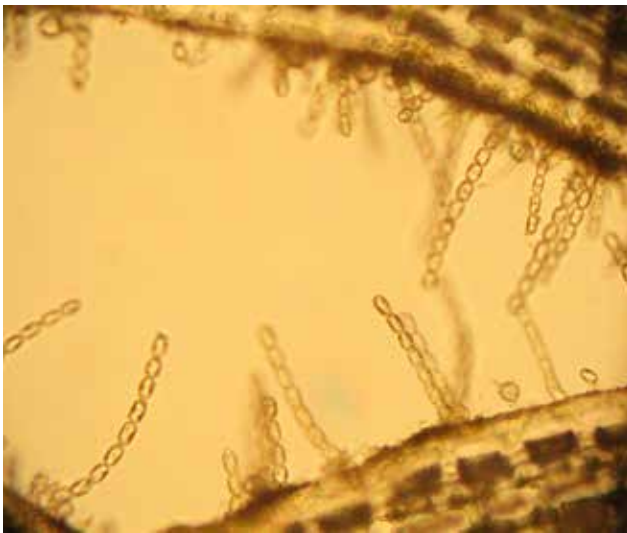


Figura 8.18. *Melosira nummuloides*: a) hábito; b) células unidas en pares; c) acercamiento de las células.

Bacillariophyceae
Bacillariales
Bacillariaceae
***Nitzschia* sp. A.H. Hassall**
Figuras 8.19, 8.22b.

Células solitarias, o formando cadenas o colonias (figura 8.19a), o viviendo en tubos mucilaginosos. Generalmente rectas y como acículas, a veces sigmoides, enterrado en las valvas. Con dos plastidios, uno en cada extremo de la célula (figura 8.19b), raramente muchos pequeños plastidios discoides. Plastidios simples o lobulados, con uno o muchos pirenoides en forma de varas. Valvas rectas o sigmoides, estrechas; lineares, lanceoladas

o elípticas, a veces expandidas centralmente, más o menos simétricas en el contorno con respecto al plano apical, pero a menudo fuertemente asimétricas en la estructura. Varios polos, a menudo rostrados o capitados. Se pueden encontrar en agua dulce o marina; usualmente epipelágica o planctónica.

Distribución: Encontrada en bahías El Rotico, Candelaria, Cocogrande, La Paila, Marirrí, caño La Marimonda, punta Coquito y bahías Turbo, El Uno y Burrera (figura 8.22b).

Observaciones: Se encontró como epífita de *Bostrychia moritziana*, *B. radicans*, *Caloglossa leprieurii*, *Polysiphonia subtilissima*.

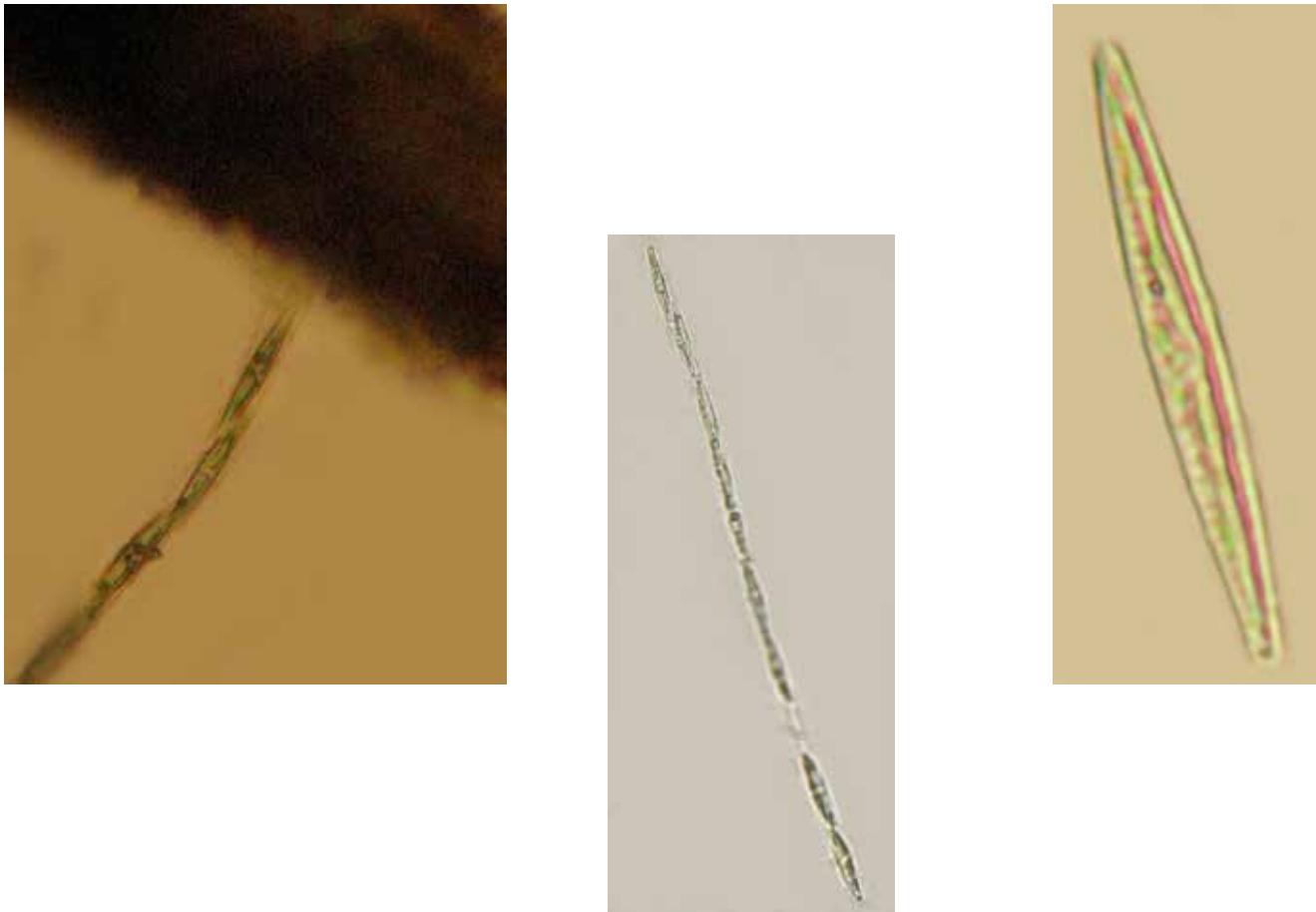


Figura 8.19. *Nitzschia* sp.: a) hábito; b) cadenas o colonias.

CYANOBACTERIA**Cyanophyceae****Oscillatoriales****Oscillatoriaceae*****Lyngbya* sp. C. Agardh ex Gomont**

Figuras 8.20, 8.22c.

Filamentosa; filamentos gruesos, rara vez solitarias, normalmente macroscópicas, con hasta varios cm. de diámetro, con envolturas firmes, a veces en capas o estratificadas y de color café, abiertas en los extremos; muy rara vez sin envolturas; no ramificado o con ramificación falsa (figura 8.20a). Tricomas rectos o ligeramente ondulados, gruesos (5.5-60 m), uniseriados (figura 8.20b), compuesto por células cilíndricas o discoide, constricto o en las paredes transversales. Células más cortas

que largas (figura 8.20c), contenido de las células verde azul, verde oliva, amarillento, café o rosado; extremos de las células con engrosamiento. Heterocitos y aquinetos ausentes. A veces las zonas meristemáticas irregulares. Por lo general crecen formando tapetes que cubren diferentes sustratos subaéreos o sumergidos. Las especies de este género son generalmente marinas o salobres; sin embargo se pueden encontrar en medios holofílicos, metanófic, contaminados, etc.

Distribución: Encontrada en bahías Yerbasa, El Rotico, Candelaria, Cocogrande, Burrera, La Paila, Marirrí, Suriquí, punta Coquito, bahías Turbo y El Uno, y caño La Marimonda (figura 8.22c).

Observaciones: Se encuentra siempre como epífita de otras algas como *Bostrychia moritziana*, *B. radicans*, *Caloglossa leprieurii*, *Polysiphonia subtilissima*.

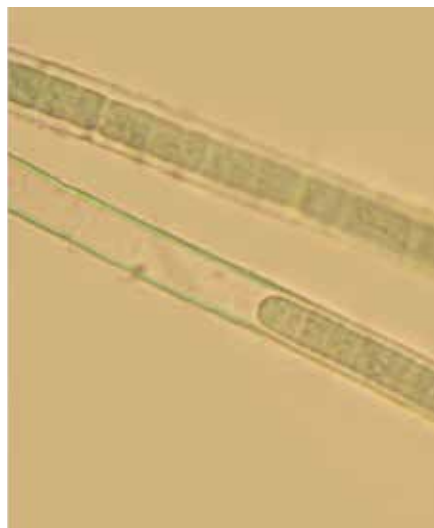
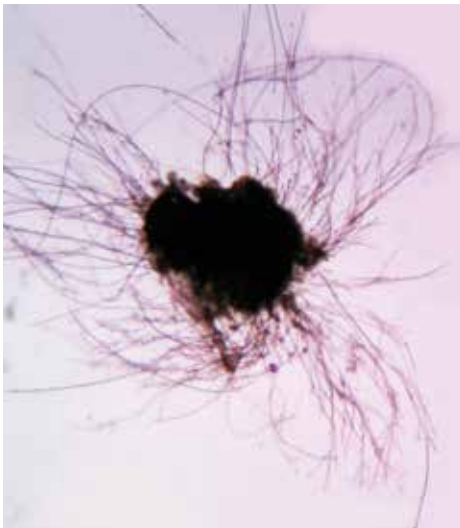


Figura 8.20. *Lyngbya* sp.: a) hábito; b) ramificación y envolturas; c) acercamiento de las células.

***Oscillatoria* sp. Vaucher ex Gomont**

Figuras 8.21, 8.22d.

Género muy común que consiste en filamentos no ramificados formando parte del plancton o fijos al sustrato, a menudo formando tapetes finos y suaves (figura 8.21a), que pueden ser desde microscópicos a macroscópicos con varios centímetros de diámetro; raramente solitarias, más generalmente en pequeños grupos, sin envolturas, excepto bajo ciertas condiciones extremas o cultivadas (figura 8.21b). Tricomas rectos o ligeramente curvos, por lo general >8 a 60 μm de ancho, uniseriados, de células cortas

cilíndricas o discoideas (siempre más cortas que anchas). Células verde azules, cafés o rosadas. Extremos de células ampliamente redondeados, a veces capitado. Las especies de este género pueden formar tapetes sobre sustratos diferentes, en aguas someras, en el litoral, o en el fondo de hábitats salobres o marinos y en suelos húmedos.

Distribución: Encontrada en bahías El Rotico, Burrera, La Paila, Marirríó, Turbo y El Uno (figura 8.22d).

Observaciones: Se encontró como epífita de *Bostrychia moritziana*, *B. radicans*, *Polysiphonia subtilissima*.

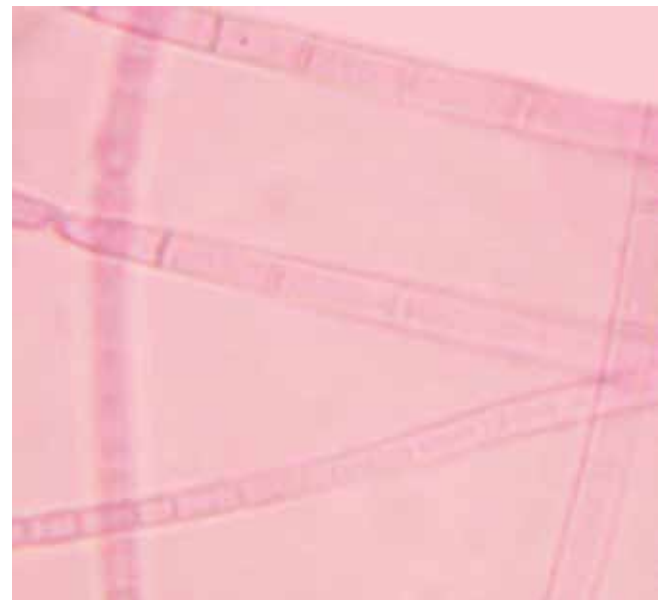
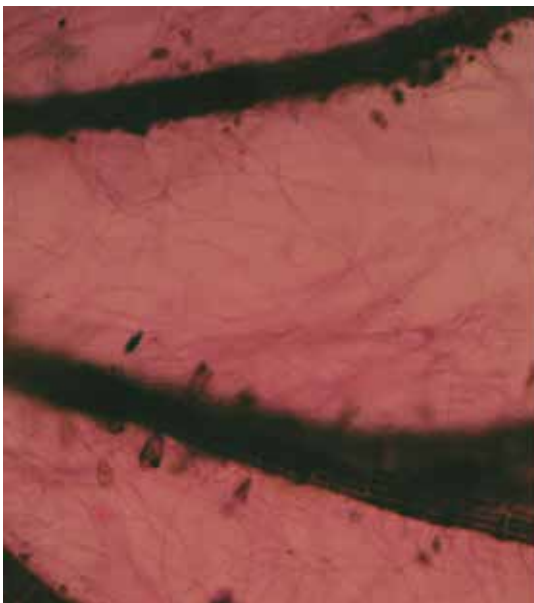


Figura 8.21. *Oscillatoria* sp.: a) hábito; b) acercamiento de los filamentos.

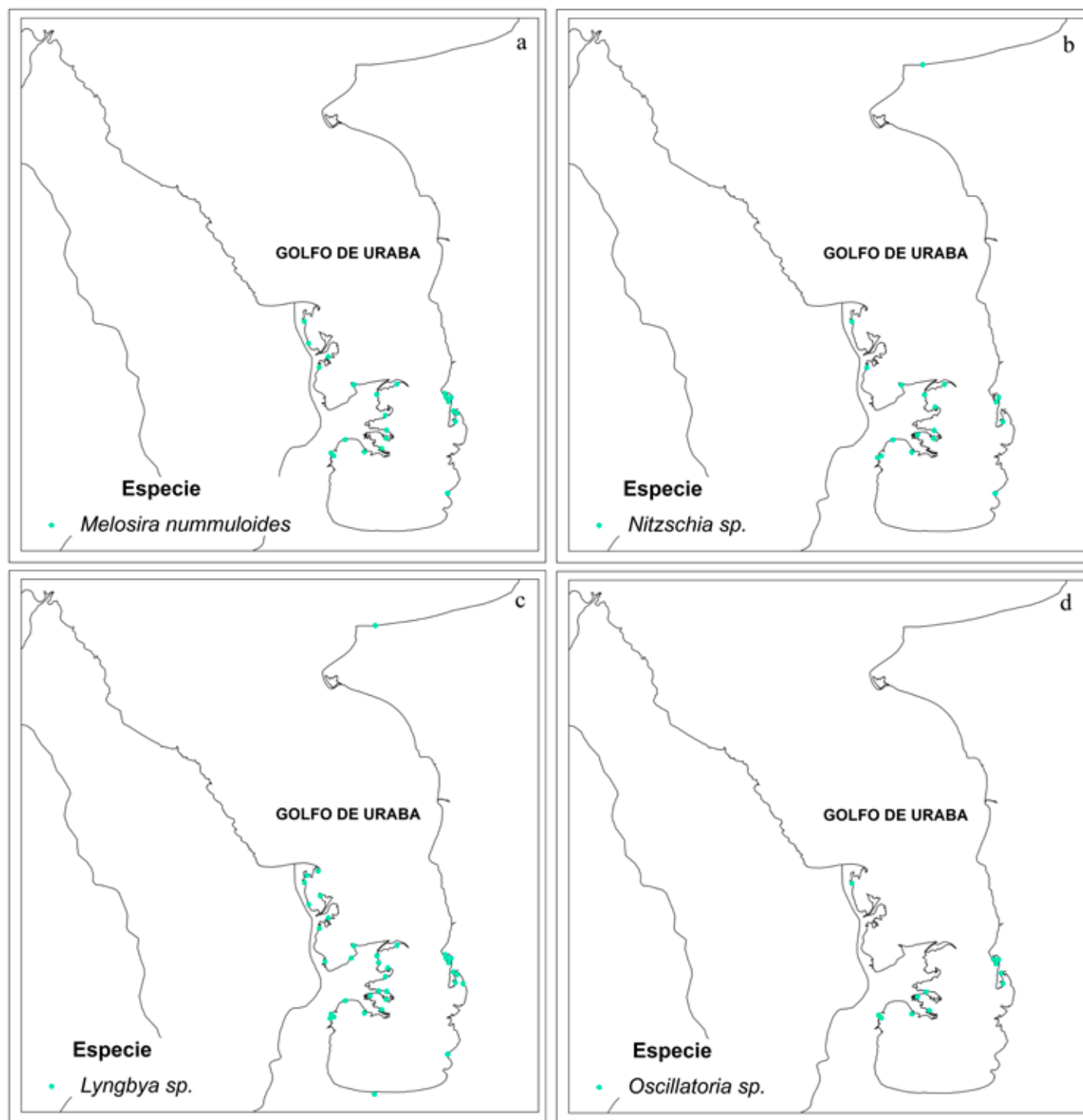


Figura 8.22. Mapas de distribución en el golfo de Urabá: a) *M. nummuloides*; b) *Nitzschia sp.*; c) *Lyngbya sp.*; d) *Oscillatoria sp.*

Schizotrichaceae***Schizothrix* sp. Kützing ex Gomont**

Figuras 8.23, 8.25a.

Filamentosas, coloniales (figura 8.23a); filamentos densos, generalmente con varios tricomas dispuestos en forma paralela; envolturas finas, gelatinosas, con margen liso o irregularmente ondulado; las envolturas son incoloras, o con color amarillo-café -amarillento, rojizo o azul-violeta; extremos de las envolturas característicamente reducidos y puntiagudos, normalmente cerrados y a veces ramificados. Talos filamentosos microscópicos o macroscópicos, o con incrustaciones de carbonato de calcio, formando colonias hemisféricas, o en

capas sobre el sustrato (por lo general rocoso). Tricomas con células cilíndricas a ovaladas, por lo general más largas que anchas; células apicales principalmente en forma cónica y redondeada. Muchas especies crecen en el litoral de lagunas unidas a los sustratos de piedra o de madera, o entre las plantas acuáticas, y en páramos y pantanos.

Distribución: Encontrada en bahías Yerbasal, El Rotico, Candelaria, Cocogrande, Burrera, La Paila, Marirrí, punta Coquito, bahías Turbo y El Uno, y caño La Marimonda (figura 8.25a).

Observaciones: Los filamentos de los especímenes examinados oscilan entre 20-50 μm de diámetro (figura 8.23b).



Figura 8.23. *Schizothrix* sp.: a) hábito; b) acercamiento de filamentos y células.

Pseudanabaenales
Pseudanabaenaceae
***Spirulina* sp. Turpin ex Gomont**
 Figuras 8.24, 8.25b.

Filamentosas; filamentos no ramificados, siempre sin envolturas, rara vez individuales, por lo general en grupos o tapetes finos, son visibles macroscópicamente y cubriendo el sustrato; con tricomas dispuestos en espiral, conservando uniforme el ancho de las vueltas; las cuales son muy estrechas, de forma tal que se roza una vuelta con la siguiente, o con espacios muy pequeños entre vueltas (figura

8.24). Tricomas de 0.5-3(-6) μm de ancho, uniseriados, compuestos de células cilíndricas u ovaladas, de colores verdes, azulados pálidos. Heterocistos y aquinetos ausentes. Varias especies son bentónicas o crecen como parte del metafiton de agua dulce, por lo general en aguas ricas en detritus entre las plantas de agua.

Distribución: Encontrada en bahías El Rotico, Candelaria, Burrera, Marirrío y Suriquí (figura 8.25b).

Observaciones: Se encontró sobre *Bostrychia moritziana*, *Caloglossa leprieurii*, *Polysiphonia subtilissima*.

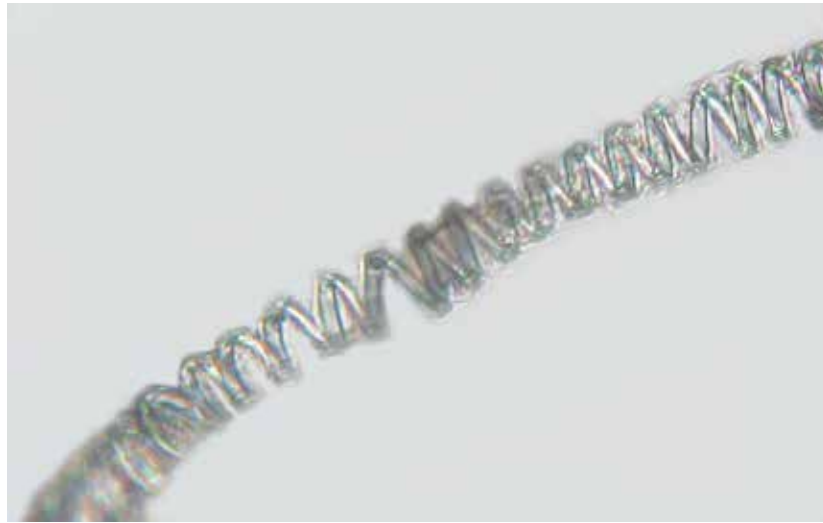


Figura 8.24. *Spirulina* sp.: acercamiento de los tricomas en espiral.

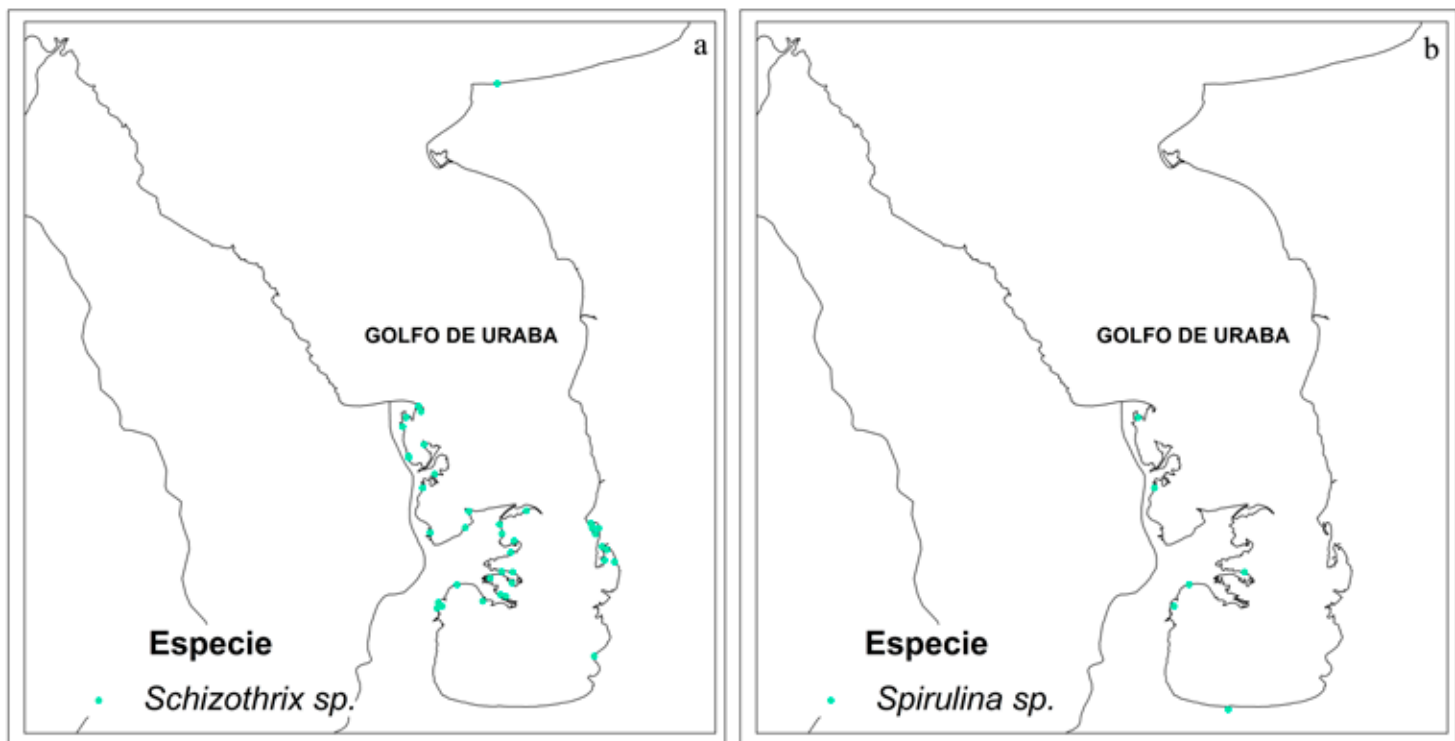


Figura 8.25. Mapas de distribución en el golfo de Urabá: a) *Schizothrix* sp.; b) *Spirulina* sp.

Macroalgas sobre otros sustratos

La distribución espacial de las macroalgas en los bosques de manglar, sin duda, deriva del hecho de que estos organismos están asociados con cualquier otro sustrato disponible en este ecosistema (Fernandes et al. 2005). Así en esta investigación se registraron 13 especies, de las cuales sólo 6 se encontraron asociadas a otros

sustratos (tabla 8.2, figuras 8.26 y 8.27), como: troncos sumergidos o sobre piedras, y no sobre *R. mangle*.

Algunos de los géneros identificados en este trabajo (*Ulva*, *Enteromorpha*, *Cladophora*, *Chaetomorpha*), se han mencionado como comunes y abundantes en sitios con enriquecimiento por nutrientes (Thorne-Miller, 1981; Ullman et al., 1993).

Tabla 8.2. Lista de especies encontradas en sustratos diferentes a *Rhizophora mangle*, colectadas en el gofo de Urabá.

Especie	Sustrato
<i>Caloglossa leprieurii</i>	Tronco sumergido
* <i>Centroceras clavulatum</i>	Tronco sumergido
<i>Chaetomorpha</i> sp.	Tronco sumergido
<i>Cladophora laetevirens</i>	Tronco sumergido
<i>Lyngbya</i> sp.	Tronco sumergido
<i>Polysiphonia subtilissima</i>	Tronco sumergido
<i>Schizothrix</i> sp.	Tronco sumergido
<i>Spirulina</i> sp.	Tronco sumergido
* <i>Cladophora prolifera</i>	Sobre piedra
* <i>Enteromorpha flexuosa</i>	Sobre piedra
* <i>Gracilaria apiculata</i>	Sobre piedra
* <i>Pterocladia capillacea</i>	Sobre piedra
* <i>Spirulina subsalsa</i>	Sobre piedra

*Especies sólo presentes en sustrato diferente a *R. mangle*.

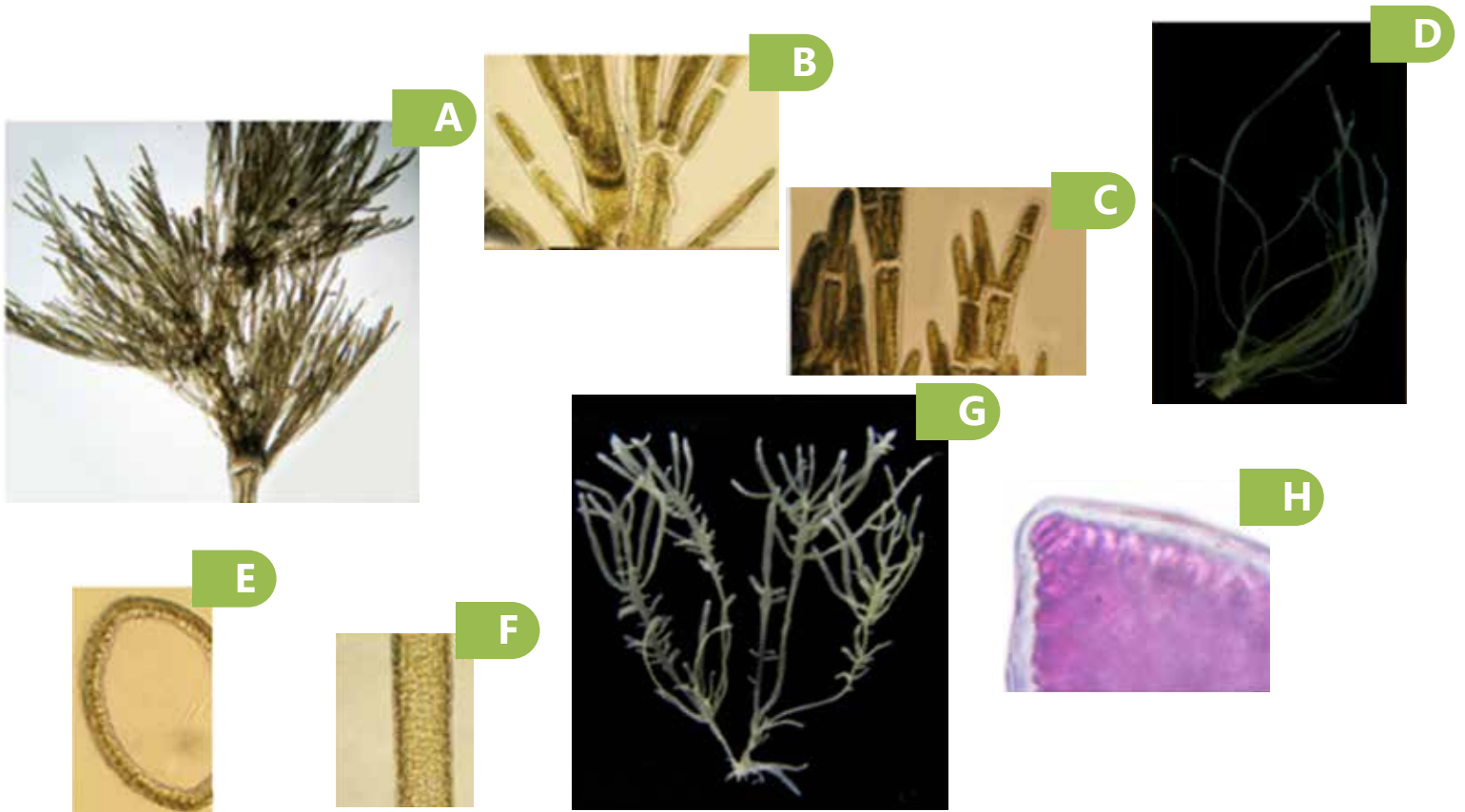




Figura 8.26. *Cladophora prolifera*: a) hábito; b-c) filamentos y ramificación. *Enteromorpha flexuosa*: d) hábito; e) corte transversal mostrando las células que forman el sifón; f) acercamiento de los filamentos. *Pterocladia capillacea*: g) hábito; h) acercamiento de la célula apical; i) estiquidios tetrasporangiales alargados. *Gracilaria apiculata*: j) hábito; k) corte mostrando la célula central y las pericentrales; l) cistocarpos.

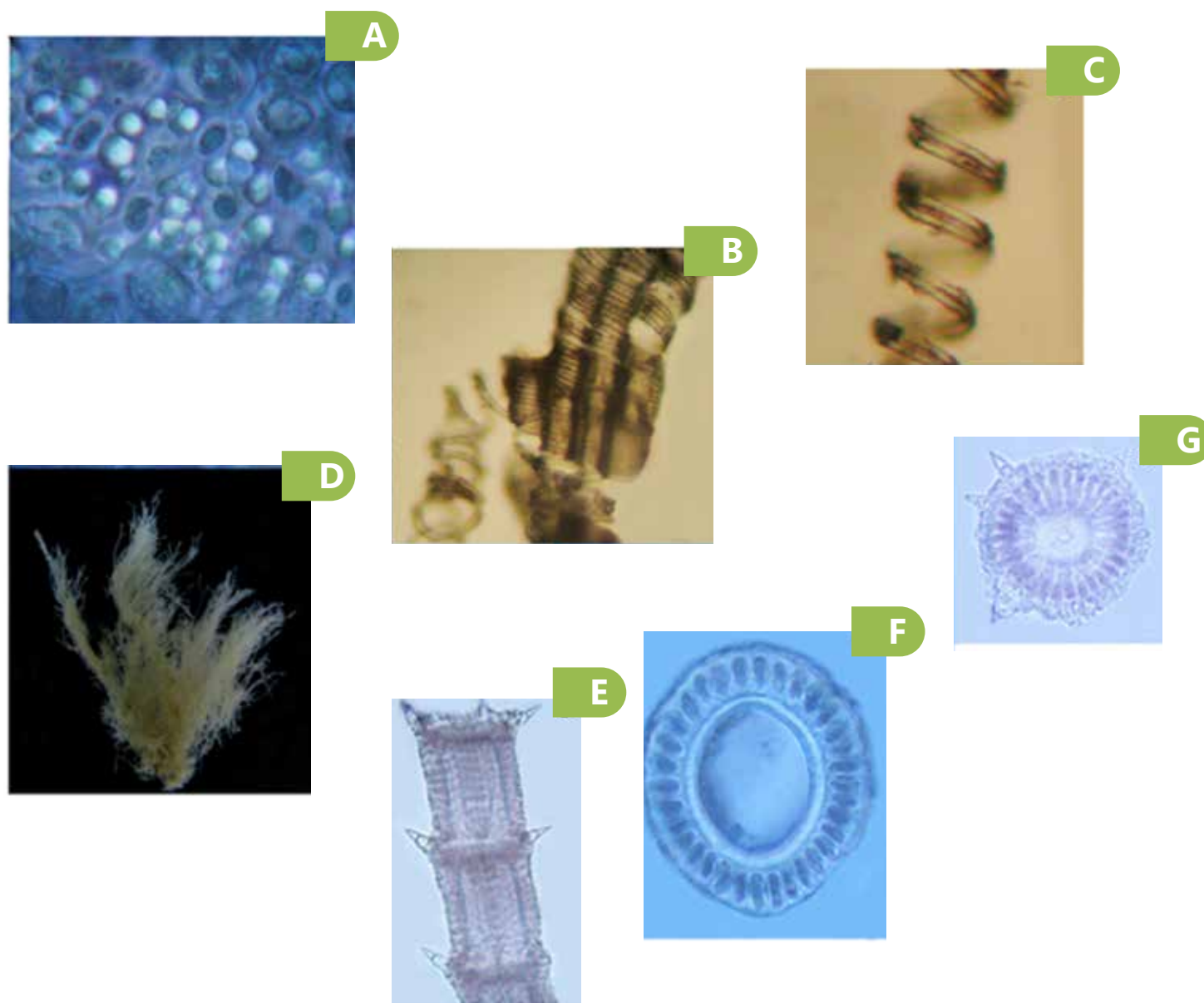


Figura 8.27. *Pterocladia capillacea*: a) acercamiento de las rizinas. *Spirulina subsalsa*: b) hábito; c) acercamiento de los tricomas en espiral. *Centroceras clavulatum*: d) hábito; d) filamentos con espinas; f) corte transversal de internodo; g) corte transversal mostrando espinas del nodo.

CONCLUSIONES

Se identificaron y diagnosticaron 19 especies asociadas a raíces de *R. mangle*, 9 Rhodophyta, 4 Chlorophyta, 4 Cyanophyta y 2 Bacillariophyta. Además, se ubicó su distribución en el golfo de Urabá. Esta relativa baja riqueza parece estar relacionada con el estrés que provocan las variaciones diarias y estacionales de salinidad.

Se identificaron 12 especies sobre otros sustratos, tales como troncos sumergidos o rocas, de éstas, 6 no se registraron sobre raíces de *R. mangle*.

Se reportan por primera vez 9 especies para el Caribe colombiano, y 12 para el golfo de Urabá.

Los géneros más comunes fueron *Lyngbya*, *Schizothrix*, *Bostrychia* y *Caloglossa*; las últimas hacen parte del complejo "Bostrychietum", que es característico en ecosistemas de manglar.

Los meses de Junio y agosto resultaron diferentes en riqueza y composición de especies; junio se ha reportado como un mes más seco, con menor salinidad, menor concentración de oxígeno disuelto y temperaturas más estables en comparación a agosto (reportado como un mes húmedo).

Este estudio contribuye de manera significativa al conocimiento de la flora algal asociada a raíces de mangle, ya que representa el primer trabajo taxonómico y ecológico para el Caribe colombiano.

ESTUDIOS EN PERSPECTIVA

Se realiza una serie de recomendaciones en pro del conocimiento ficológico de los mares colombianos, las mismas se detallan a continuación:

- Ejecutar investigaciones en taxonomía y ecología de las macroalgas, a lo largo de todas las costas colombianas: tanto en la parte litoral, como insular.
- Evaluar la fisiología propia de las especies más representativas de cada área de estudio, para entender los procesos ecológicos del hábitat.
- Para las algas asociadas a diferentes sustratos, se debe incluir tanto su distribución vertical, como su distribución espacial, y su papel como especies bioindicadoras.
- Se deben realizar estudios que permitan comparar las épocas climáticas contrastantes (seca, húmeda y de transición), para observar cambios en la estructura de la comunidad algal, con respecto a variables fisicoquímicas e hidrológicas.
- Realizar estudios para determinar la influencia de las variables ambientales en los cambios de estructura de las especies de algas.

REFERENCIAS

- Abbott IA, Hollenberg GJ. 2007. *Marine Algae of California*. Stanford University Press. Stanford, California. 827 pp.
- Araújo RJ. 1997. *On the History and Development of Mangrove Research in the Eastern Americas*. M.A. Thesis, University of Miami, Coral Gables, Florida 123 pp.
- Araújo RJ, Vargas-Ángel B. 2001. *Percepciones Acerca de la Investigación Ecológica en Manglares y Arrecifes Coralinos de Colombia*. Resumen Ampliado. IX Congreso Latinoamericano Sobre Ciencias del Mar. San Andrés Isla, Colombia.
- Barrios JE, Márquez B, Jiménez M. 2004. *Macroalgas Asociadas a Rhizophora mangle L. en El Golfo de Santa Fe, Estado Sucre, Venezuela*. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná, Estado Sucre.
- Broderick ME, Dawes CJ. 1998. *Seasonal photosynthetic and respiratory responses of the red alga Bostrychia tenella (Ceramiales, Rhodophyta) from a salt marsh and mangal*. Phycologia 37(2):92-99.
- Bula-Meyer G. 1998. *Estado Actual de La Taxonomía de Las Macroalgas Marinas de Colombia*. Boletín Ecotrópica, 33:1-14.
- Bula-Meyer G, Schnetter R. 1988. *Las Macroalgas recolectadas durante la Expedición Urabá II, Costa Caribe del Noroeste Chocoano, Colombia*. Boletín Ecotrópica, 18:12-32.
- Cordeiro-Marino M, Braga MRA, Eston VR, Fujii MT, Yokoya NS. 1992. *Mangrove Macroalgal Communities of Latin America: The State of Art and Perspectives*. En: *Coastal Plant Communities of Latin America*. Ed. U. Seeliger. Academic Press, New York. 3:51-64.
- Cutrim MVJ, Silva EF da, Azevedo ACG de. 2004. *Distribuição vertical das macroalgas aderidas em rizóforos de Rhizophora mangle Linnaeus nos manguezais de Parna-Açu e Tauá-Mirim (Ilha de São Luís/MA-Brasil)*. Boletim do Laboratorio de Hidrobiologia, 17:9-18.
- Díaz-Pulido G, Bula-Meyer G. 1997. *Marine algae oceanic atolls in the Southwestern Caribbean Albuquerque Cays, Courtown Cays, Serrana Bank, and Roncador Bank*, Atoll Research Bulletin, 448:1-18.
- Díaz-Pulido G y Díaz-Ruiz M. 2003. *Diversity of benthic marine algae of the Colombian Atlantic*. Biota Colombiana, 4(2):203-246.
- Drebes G. 1974. *Marines Phytoplankton. Eine Auswahl der Helgoländer Planktonalgen (Diatomeen, Peridineen)*. Georg Thieme Verlag Stuttgart. Germany. 186 pp.
- Fernandes MEB, Silva EF, Lima JF, Varela ES, Hercos AP, Fernandes CM, Arruda CCB, Gomes G, Santos H, Soares C, Saraiva RM. 2005. *Distribuição Espacial das Macroalgas Associadas às Florestas de Mangue na Península de Ajuruteua, Bragança-PARÁ*. Boletim do Laboratorio de Hidrobiologia, 18(1):11-17.
- 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 del INVEMAR N° 12. Santa Marta, Colombia. 180 pp.
- Guimarães SMPB, MT Fujii, D Pupo y NS Yokoya. 2004. *Reavaliação das características morfológicas e suas implicações taxonômicas no gênero Polysiphonia sensu lato (Ceramiales, Rhodophyta) do litoral dos Estados de São Paulo e Espírito Santo, Brasil*. Revista Brasileira de Botânica, 27(1):163-183.
- Guiry MD y Guiry GM. 2016. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>. Fecha de consulta: 11 de febrero 2010 y 22 de julio de 2016.
- Hutchings P, Saenger P. 1987. *Ecology of Mangrove*. Univ. Queensland Press. St. Lucia. London, New York. 338 pp.
- Kapraun DF, Lemus AJ y Bula-Meyer G. 1983. *Genus Polysiphonia (Rhodophyta, Ceramiales) in the Tropical Western Atlantic: I. Colombia and Venezuela*. Bulletin of Marine Science, 33(4):881-898.

- Karsten U, West JA, Zucarello G, Kirst GO. 1994. *Physiological Ecotypes in the Marine Alga Bostrychia radicans (Ceramiales, Rhodophyta) from the East Coast of the U.S.A.* J. Phycologia, 30:174-182.
- Kathiresan K, Bingham BL. 2001. *Biology of Mangroves and Mangrove Ecosystems.* Advances in Marine Biology, 40:81-251.
- Lee RE. 2008. *Phycology.* Cambridge University Press, Colorado State University, USA. 547 pp.
- Littler DS y Littler MM. 2000. *Caribbean Reef Plants. An Identification Guide to the Reef Plants of the Caribbean, Bahamas, Florida and Gulf of Mexico.* OffShore Graphics, Inc., Washington, DC. 542 pp.
- Menéndez-Carrera L, Guzmán-Menéndez JM. 2006. *Ecosistema de manglar en el Archipiélago Cubano: Estudios y experiencias enfocados a su gestión.* Editorial Academia La Habana. 329 pp.
- Miranda PTC, Gurgel, FFG, Liberato MAF, Oliveira MT, Arruda TLB. 1988. *Comunidade bentônica em raízes de Rhizophora mangle L., no manguezal do rio Ceará (Ceará-Brasil).* Arquivos du Ciencia Marina, 27:101-110.
- Oliveira EC. 1984. *Brazilian mangrove vegetation with special emphasis on the seaweeds.* In Hydrobiology of the mangrove (F.D. Por y I. Dor, eds.). W. Junk Publishers, The Hague, 55-65.
- Peña-Salamanca EJ. 2008. *Dinámica Espacial y Temporal de la Biomasa Algal Asociada a las Raíces de mangle en la Bahía de Buenaventura, Costa Pacífica de Colombia.* Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras, 37(2):55-70.
- Peña EJ, Zingmark R, Nietch C. 1999. *Comparative photosynthesis of two species of intertidal epiphytic macroalgae on mangrove roots during submersion and emersion.* Journal of Phycology, 35: 1206-1214.
- Prahl Hv. 1989. *Manglares de Colombia.* Villegas Editores, Bogotá, 207 pp.
- Pulz O, Gross W. 2004. *Valuable products from biotechnology of microalgae.* Applied Microbiology and Biotechnology, 65(6):635-648.
- Prescott GW. 1962. *Algae of the Western Great Lakes Area. Michigan State University.* W.M.C. Brown CO. INC., Dubuque, Iowa, U.S.A. 977 pp.
- Rodríguez C, Stoner AW. 1990. *The Epiphyte Community of Mangrove Roots in a Tropical Estuary: Distribution and Biomass.* Aquatic Botany, 36(2):117-126.
- Round FE, Crawford RM, Mann DG. 1990. *The Diatoms: Biology y Morphology of the Genera.* Cambridge University Press. 747 pp.
- Schnetter R. 1975. *Nuevas Algas Bénticas del Litoral Caribe de Colombia, II.* Caldasia 11(53):57-60.
- Skelton PA, South GR. 2002. *Mangrove-associated Algae from Samoa, South Pacific* International Ocean Institute Regional Centre for Australia and the Western Pacific PO Box 1539, Townsville, Queensland 4810, Australia.
- Steinke TD, War CJ. 1988. *Litter production by mangroves. II. St Lucia and Richards Bay.* Afr. J. Bot. /S.-Afr. Tydskr. Plantkd. 54(5):445-454.
- Steinke TD, Naidoo Y. 1990. *Biomass of algae epiphytic on pneumatophores of the mangrove, Avicennia marina in the St. Lucia estuary.* Journal of Botany, 56:226-232.
- Suárez AM, Pérez L. 1989. *Algas asociadas a las raíces de Rhizophora mangle L. en cayos al este de la Isla de la Juventud, Cuba.* Revista de Investigaciones Marinas, 10(2):117-131.
- Suárez AM. 2005. *Lista de las macroalgas marinas cubanas.* Revista de Investigaciones Marinas, 26(2):93-148.
- Taylor WR. 1936. *Notes on Algae from de Tropical Atlantic Ocean, III.* Pap. Michigan Academy of Sciences and Arts Letters, 21:199-2007.
- Taylor WR. 1941. *Tropical Marine Algae of the Arthur Schott Herbarium.* Field Museum of Natural History, Botanic Series, 20:87-104, 2.
- Taylor WR. 1959. *Association Algales des Mangroves d' Amerique.* Colloq Int. Centre Nat. Rech. Sci. 81:143-152.
- Taylor WR. 1960. *Marine Algae of Eastern Tropical and Subtropical Coasts of the Americas. Vol II.* The University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan, ix + 870 pp.

- Tejada OL. 2005. *Macroalgas Asociadas a Raíces de mangle: Costa Pacífica de Costa Rica*. Presentación PowerPoint de Tesis de Grado de Magíster, Scientiae. 36 pp.
- Tejada OL. 2007. *Ecofisiología de Macroalgas Asociadas a Bosques de Manglar y su Distribución en Centro América*. Revista Quehacer Científico. Facultad de Ciencias Naturales y Matemática Año V. No. 6.
- Wynne MJ. 2005. *A Checklist of Benthic Marine Algae of the Tropical and Subtropical Western Atlantic: Second Revision*. Nova Hegwigia, 129:1-152.

GLOSARIO

Apical:	Extremo opuesto a la estructura de fijación, zona de crecimiento.
Basal:	Opuesto a apical, región donde encontramos las estructuras de fijación.
Cíngula:	Surco transversal que rodea toda la célula.
Corticación:	Segunda capa de células; cuando hay una capa de células externa de diferente tamaño, puede cubrir total o parcialmente al filamento.
Envoltorio o vaina:	A menudo mucilaginosa, ausente en las especies unicelulares.
Epífita:	Que crece sobre otras plantas.
Erecto:	Que crece erguido.
Estípite:	Pie que forma la base del talo y sostiene la fronde o expansiones laminares.
Hapterio:	Estructura de fijación con proyecciones en forma de dedos, derivadas de la célula axial de la base de ramas postradas.
Disco:	De forma circular, formado desde las primeras ramificaciones a las ramificaciones mayores.
Rizoide:	Estructura de fijación de las algas, puede ser filamentosos o unicelular.
Filamento:	Hilera de células conectadas unas con otras por uniones cotoplasmáticas, pueden ser simples o ramificados.
Fronde:	Parte erecta del talo de las algas.
Heterocisto:	Célula vegetativa de las Cyanophyta, diferente del resto de las células, y cuya principal función parece ser la fijación de nitrógeno.
Metafiton:	Conjunto de algas débilmente asociadas al sustrato.
Ovoide.	Con forma ovalada, de huevo.
Pericentral:	Célula central, en muchas Rhodophyta formada por una célula axial y central.
Polisifónico:	Talo formado por varias células dispuestas alrededor de otras centrales.
Postrado:	Talo que se encuentra tendido, reptante sobre el sustrato.
Rámula:	Ramificación secundaria del alga.
Ramificación:	Proyección formada a partir de un eje.
Alterna:	Las ramas se disponen en distintos niveles sucesivamente.
Dicotómica:	Ramificación que se divide por pares, que abre en dos.
Endógena:	Rama que surge de una célula central.
Exógena:	Que se origina o genera externamente, de una célula axial pseudodicotómica.

Reproducción:

Carpospora:	Espora diploide (2n) que se forma en el esporangio y que al germinar produce una planta
Cistocarpos:	Estructuras de reproducción que contienen a las carposporas
Estiquidios:	Ramificación especializada, engrosada y de forma distintiva, y en la cual se encuentran tetrasporas.
Gametangio:	Célula o estructura multicelular que produce gametos.
Espermatangio:	Gameto sexual masculino.
Tetrasporas:	Conjunto de cuatro esporas.
Segmento:	Cada una de las secciones que se forman por divisiones o paredes transversales.
Sifón:	Filamento o talo hueco, sin células en el interior, cenocítico.
Talo:	Cuerpo vegetativo de las algas.
Tapete:	Crecimiento filamentosos de una especie o grupo de especies algales.
Tricoma:	Fila de células que junto con la vaina externa forman el filamento.
Uniseriado:	Arreglo en una sola hilera de células.





CAPÍTULO

Comparación de la composición
y distribución de moluscos y
gusanos marinos en ocho zonas
del Caribe colombiano

9



Comparación de la composición y distribución de moluscos y gusanos marinos en ocho zonas del Caribe colombiano

Juan F. Blanco^{1,2,3}, Verónica Meneses^{1,4}, David Mazo^{1,5}, Mario H. Londoño-Mesa^{1,6}

¹Grupo LimnoBasE y Biotamar (Limnología Básica y Experimental y Biología y Taxonomía Marina).

²Grupo ELICE (Ecología Lótica: Islas, Costas y Estuarios),
Instituto de Biología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad de Antioquia. Medellín.

Calle 70 #52-21. A.A. 1226.

³juan.blanco@udea.edu.co; ⁴roni123321@yahoo.com.ar; ⁵altimetx@gmail.com; ⁶hernan.londono@udea.edu.co.

Resumen: Se construyó una base de datos de la distribución de gasterópodos, bivalvos y poliquetos del Caribe colombiano a partir de 24 estudios realizados entre 1973 y 2008. En conjunto, los estudios abarcaron 17 localidades desde el golfo de Urabá hasta bahía Portete; se incluye, además, el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Estas localidades se agruparon en ocho zonas: Urabá, Morrosquillo, Cartagena, Santa Marta (a), Santa Marta (b), Tayrona, Portete y Caribe insular oceánico. Se relacionó el porcentaje de taxones con el porcentaje de estudios en las zonas; se comparó la similitud de la composición de taxones entre las ocho zonas, y se determinó la distribución de los once taxones más comunes en las 17 localidades. A pesar de las limitaciones por las diferencias en los métodos y el esfuerzo de muestreo, los resultados obtenidos presentaron algunos patrones que valdría la pena verificar en estudios de campo posteriores. En primer lugar, las zonas estuarinas, como el golfo de Urabá y la Ciénaga Grande de Santa Marta presentaron la mayor similitud de taxones, predominantemente tolerantes a amplias variaciones espacio-temporales de salinidad. Menores similitudes fueron encontradas con respecto a las zonas con predominio marino. En segundo lugar, se observaron similitudes en poliquetos, entre zonas contiguas. Se plantean dos hipótesis para explicar los anteriores patrones: 1) barreras naturales y antropogénicas (e.g. urbanización) para la colonización, y 2) factores limitantes para la dispersión. En conclusión, este trabajo sugiere que el golfo de Urabá presenta particularidades con un elevado valor para conservar y manejar.

Abstract: A database containing the distribution of gastropods, bivalves and polychaetes was assembled with data from 24 studies conducted between 1973 and 2008. This database covered 17 localities from the Gulf of Urabá to the Portete Bay, including the San Andrés, Providencia y Santa Catalina archipelago. These localities were grouped in eight zones: Urabá, Morrosquillo, Cartagena, Santa Marta (a), Santa Marta (b), Tayrona, Portete y Caribbean oceanic islands. A species similarity index was computed among zones, and the species distribution map was constructed for the most abundant and frequent species. Despite of the potential bias on the species distributions due to the different sampling methods used and sampling effort employed, some general trends were evident that may be noteworthy to test in future field studies. Firstly, estuarine zones such as the Gulf of Urabá and the Ciénaga Grande de Santa Marta exhibited the greatest similarity, particularly due to the dominance by tolerant species to the spatio-temporal variability in salinity. A lower similarity was observed relative to zones where marine conditions are prevalent. Secondly, polychaetes were similar in neighboring zones. Two hypotheses were proposed in order to explain the above patterns: 1) natural and anthropogenic (e.g. urbanization) barriers to colonization, and 2) limiting factors for dispersal. In conclusion, this study suggests that the Gulf of Urabá exhibits environmental uniqueness relative to the rest of the Caribbean coast of Colombia, that it is noteworthy to conserve and manage.

INTRODUCCIÓN

Los organismos están adaptados a las condiciones donde ellos viven, pero también son el reflejo de la historia geológica regional y de las limitaciones genéticas de sus ancestros (Vermeij, 1978). De la misma manera el ámbito de distribución geográfica de una especie, es el producto de la historia geológica y de la filogenética (relación de parentesco entre especies ancestrales y descendientes) (Vermeij, 1978). Tradicionalmente, el número de estudios sobre los ámbitos de distribución geográfica (biogeografía) de las especies terrestres supera el de las marinas (Vermeij, 1978; Brown y Lomolino, 1998). En el área del Gran Caribe (Salazar-Vallejo, 2000), y del Caribe colombiano en particular (Díaz, 1995), existen pocos estudios biogeográficos sobre la fauna marina.

El Caribe colombiano posee islas, golfos, bahías y ciénagas que guardan en común la presencia parcial o total de bosques de manglar, a los cuales están asociados una diversidad de organismos invertebrados, como moluscos (principalmente gasterópodos y bivalvos) y los gusanos marinos (poliquetos). No obstante, algunas condiciones ambientales los diferencian haciendo que su biota sea particular. Por ejemplo, la Ciénaga Grande de Santa Marta, una de las áreas geográficas más estudiadas en Colombia, tiene un mosaico de hábitats que van desde extensas franjas de bosques de manglar en su costa, hasta playas arenosas y formaciones arrecifales; además, es un ecosistema con fuertes cambios espacio-temporales de salinidad (Cosel, 1973; Hernández y Márquez, 1987; Palacio, 1978, 1983). Por el contrario, la ciénaga de la Boquilla, en el golfo de Morrosquillo, presenta condiciones espacio-temporales menos cambiantes (Quiceno y Palacio, 2008). Otras localidades contrastan por su grado de conservación, como el Parque Nacional Natural Tayrona, un área legalmente protegida, así como las bahías de Cartagena y de Santa Marta, las cuales lindan con centros urbanos. Por otra parte, algunas áreas como el golfo de Urabá (Antioquia) y la bahía Portete (La Guajira), no solo se encuentran en áreas geográficamente distantes, sino que también son significativamente distintas.

Mientras el clima de la primera se clasifica como predominantemente sub-húmedo, el clima de la segunda se clasifica como desértico.

Finalmente, dentro del territorio colombiano el archipiélagos de San Andrés, Providencia y Santa Catalina presenta una oportunidad para comparar la composición de la fauna de sus manglares con la del Caribe colombiano continental, y entender los factores que influyen sobre su distribución, ya que ha sido objeto de varios estudios (Londoño-Mesa et al., 2002; Moreno, 2002; Vilaridy y Polanía, 2002). Sin embargo, en la isla de San Andrés la presión antrópica es significativa; por ejemplo, las bahías Hooker y Honda (las cuales han sido objeto de la mayoría de estudios), con los bosques de manglar más desarrollados, han sido alterados por el vertimiento de hidrocarburos, limitando la disponibilidad de oxígeno y modificando o reduciendo la diversidad de especies (Moreno, 2002; Vilaridy y Polanía, 2002). Por tanto, el estudio de la fauna asociada a las raíces de los mangles a lo largo de todo el Caribe colombiano, desde una perspectiva biogeográfica, puede ayudar a entender las adaptaciones que las diferentes especies tienen a las características oceanográficas y, por ende, establecer así con mayor claridad los ámbitos de distribución.

Ahora bien, un análisis biogeográfico de la fauna asociada a las raíces de los mangles, permitirá establecer si las características del golfo de Urabá son particulares o se encuentran dentro del espectro de variabilidad observada en el Caribe colombiano. Esto es importante desde el punto de vista de conservación y manejo, ya que siendo particular, el Golfo debe ser considerado un área de alta prioridad para la conservación; mientras que siendo parte de la generalidad, debe manejarse para garantizar un desarrollo sustentable y que no afecte la conectividad ecológica y oceanográfica con las áreas geográficas aledañas. Sin embargo, como se ha resaltado en los capítulos anteriores, y ha sido mencionado por otros autores, el golfo de Urabá tiene una geología, geomorfología y oceanografía complejas (Bernal et al., 2005). Por ejemplo, posee quince deltas, dos bahías y una ciénaga (Marín-Zambrana, 2002); los cuales tienen

varios ecosistemas como manglares y bosques de transición, fondos blandos sumergidos y emergidos (playas), litoral rocoso, praderas de pastos y algunos parches de arrecifes coralinos, que favorecen una diversidad marina de niveles intermedios.

El objetivo entonces de esta investigación fue someter a prueba la hipótesis de que, desde el punto

de vista biogeográfico, la fauna asociada a las raíces de los manglares del Golfo se diferencia de la del resto del Caribe colombiano. Este trabajo fue financiado por la Gobernación de Antioquia a través del proyecto “Expedición Estuarina-golfo de Urabá, fase 1”, en el cual participaron la Universidad de Antioquia, la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín y la Universidad EAFIT.

ANTECEDENTES

El primer estudio acerca de macroinvertebrados asociados a las raíces de manglar, en el Caribe colombiano, fue realizado por Cosel (1973), quien publicó un trabajo preliminar sobre moluscos de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Esta publicación fue uno de los primeros intentos por caracterizar la fauna de macroinvertebrados dentro de la zona estuarina, clasificando las especies encontradas de acuerdo a su tolerancia a la salinidad. Además, hace referencia a observaciones sobre la abundancia poblacional de las especies, que en algunos casos abarcan desde 1969. De este primer trabajo salen tipificados, como especies habitantes de las raíces del manglar, los moluscos *Crassostrea rhizophorae* Guilding 1828, que para aquella época era de gran importancia económica; *Congerina sallei* Dall 1898, *Martesia striata* Linnaeus 1758, *Bankia fimbriatula* Moll and Roch 1931, *Neritina virginea* Linnaeus 1758, y *Littorina angulifera* Lamarck 1822. Los estudios continuaron en la Ciénaga por Palacio (1978, 1983), quien amplió el cubrimiento taxonómico a toda la fauna de invertebrados estuarinos, presentando un listado de taxones del fondo (sedimentos), y de las raíces de *Rhizophora mangle* Linnaeus 1753; de esta forma, estableció variaciones poblacionales en relación con los cambios de salinidad. Pérez y Victoria (1978) determinaron la distribución de la comunidad de moluscos, anélidos y crustáceos asociados a raíces de *R. mangle*, con respecto a la tolerancia de salinidad y a las fuentes de contaminación antrópica en la bahía de Cartagena. Duque (1979) elaboró un reporte de la malacofauna presente en la bahía

de Neguanje (Parque Nacional Natural Tayrona-PNNT); los individuos se extrajeron de diferentes sustratos (arena o fango) y biotopos (manglar, acantilados rocosos, formaciones coralinas, pastos marinos). Posteriormente, Cosel (1986) hizo una nueva descripción de la malacofauna presente en la Ciénaga Grande de Santa Marta, analizando aspectos paleontológicos y zoogeográficos, y teniendo en cuenta la salinidad, la profundidad, las corrientes estuarinas, el tipo de sustrato (raíces de manglar, sedimentos, rocas, etc.) y la época del año (lluviosa y seca). Hizo énfasis en la importancia de las condiciones ambientales, ya que de éstas depende la presencia o ausencia de las especies; además, hasta la fecha ninguna publicación analizaba de distribución en el Caribe colombiano. Hernández y Márquez (1987) cuantificaron la oferta comercial de la ostra *C. rhizophorae*, relacionando su abundancia con la salinidad y la calidad del sustrato que requiere esta especie en su ciclo de vida. Con este estudio se determinó el potencial que tiene esta especie para ser cultivada. Posteriormente, Reyes y Campos (1992a, b) publicaron una investigación en la bahía del Chengue (PNNT), basada en un experimento que comparó la colonización de macroinvertebrados en raíces de *R. mangle* contra estacas hechas de esta misma raíz. Reportaron esponjas, cnidarios, briozoos, anélidos, moluscos, crustáceos y cordados. Díaz (1994) realizó un listado de moluscos a partir de colectas intensivas y una revisión bibliográfica sobre las regiones de Santa Marta y el PNNT, discriminando entre preferencias de sustrato y rango de profundidad.

Álvarez-León y Laverde-Castillo (2003) realizaron un estudio sobre la diversidad de poliquetos del bentos de la laguna sur de la bahía de Chengue (PNNT). Guzmán-Alvis y Carrasco (2005) estudiaron los patrones temporales de las asociaciones de macroinvertebrados en sedimentos de fondos blandos, cerca a la costa de Santa Marta; encontraron patrones de comportamiento similar a nivel de géneros y familias. En el golfo de Morrosquillo se cuenta con tres registros, todos realizados en la ciénaga de La Boquilla. Bolaño et al. (2005) realizaron un estudio sobre la distribución, composición y abundancia de poliquetos de fondos blandos de las zonas mesolitoral e infralitoral, y los relacionó con parámetros físicos. Quiceno y Palacio (2008) publicaron los resultados de un estudio realizado con el fin de establecer la estructura de la comunidad de macroinvertebrados asociados a las raíces de *R. mangle*, reportando moluscos, anélidos, crustáceos, poríferos, cnidarios y equinodermos. Posteriormente, Prüssmann-Urbe y Palacio (2008) estudiaron el proceso de colonización y sucesión de moluscos y crustáceos en las raíces de *R. mangle*, en La Boquilla.

En conjunto, los estudios mencionados abarcan la zona costera del Caribe colombiano continental, comprendida entre la bahía de Neguanje (PNNT) y la ciénaga de La Boquilla, en el golfo de Morrosquillo. Con relación al esfuerzo de muestreo, las localidades más ampliamente muestreadas son la Ciénaga Grande de Santa Marta (4 estudios) y el PNNT (5 estudios). Sin embargo, durante la última década, se realizaron varios estudios que ampliaron los registros para la península de La Guajira y el Caribe insular. Guzmán-Alvis et al. (2006) realizaron un estudio en el que se determinó la variación espacial y temporal de la abundancia de poliquetos en sedimentos, con relación a algunas variables físicas (tipo de sedimentos, turbidez, profundidad) en bahía Portete (La Guajira). En el archipiélago de San Andrés (bahía Honda, bahía Hooker) y Providencia

(PNN Old Providence Lagoon McBean) se estudió la fauna asociada a las raíces sumergidas de *R. mangle*; Vilarly y Polanía (2002) caracterizaron los moluscos, mientras que Londoño-Mesa et al. (2002) caracterizaron los poliquetos. Luego, Moreno (2002) estudió simultáneamente a los poliquetos, moluscos y crustáceos. Más recientemente, Romero (2004) integró diferentes grupos de la comunidad de invertebrados, como poríferos, moluscos, poliquetos y artrópodos, a nivel de las variaciones temporales a lo largo del proceso de sucesión.

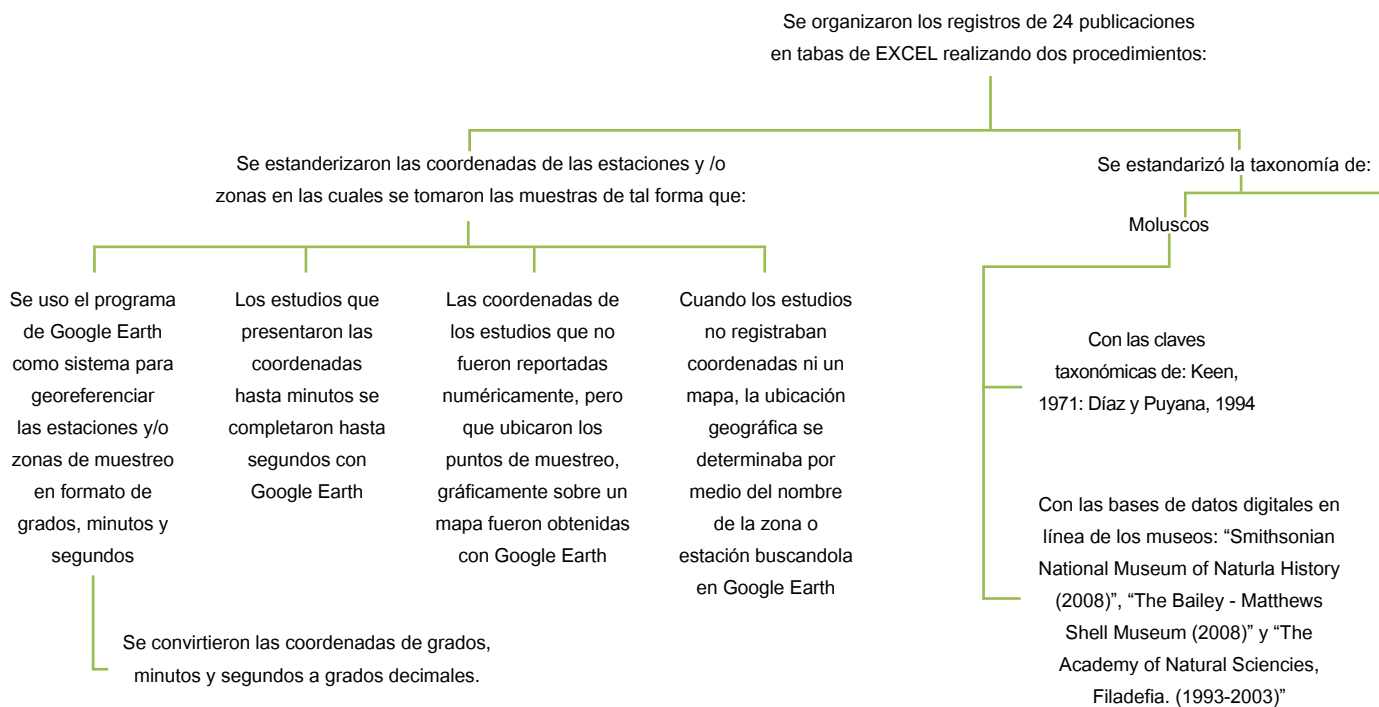
El conocimiento que se tiene sobre las comunidades de invertebrados asociados a raíces de mangle en el golfo de Urabá, es significativamente menor (ver capítulo 5). Llano-Medina (1988) realizó el primer estudio limitado a la bahía de Marirrí, determinando la distribución espacial de los macroinvertebrados a lo largo de un año. Román-Valencia (1991), además de la bahía de Marirrí, amplió los muestreos a la bahía El Rotico y a la ensenada de Rionegro, aportando un inventario preliminar de ictiofauna y macroinvertebrados asociados a las raíces, junto con la medición de variables físico-químicas, y estableciendo el estado ecológico de las localidades. No obstante, el proyecto "*Caracterización y Zonificación de los Manglares del golfo de Urabá, Departamento de Antioquia*" (CORPOURABA, 2003, 2005), demostró extensamente las comunidades de las raíces de los manglares, considerando el golfo como la unidad geográfica (Blanco et al., 2007). Dentro de este proyecto, Rojas y Palacio (2003) reportaron las especies de poliquetos, moluscos y crustáceos, y determinaron el rango de salinidad que estos organismos pueden soportar, en el golfo de Urabá (sólo jurisdicción del Departamento de Antioquia). Más recientemente, se realizó un estudio de la variación espacial de las comunidades asociadas a las raíces de los manglares en las bahías Turbo y El Uno, y su relación con la variación espacio-temporal (1 año) de la salinidad (García y Correa, 2006; García y Palacio, 2008).

METODOLOGÍA

Este estudio comparó los listados disponibles de moluscos bivalvos y gasterópodos, y de gusanos marinos poliquetos, entre las localidades mencionadas en los antecedentes, con base en la bibliografía. Se visitaron universidades, institutos de investigación y entidades territoriales, bibliotecas y centros de documentación en diferentes ciudades del país en busca de tesis, informes técnicos, libros, memorias de congresos, artículos científicos en revistas nacionales e internacionales, que incluyeran listados de especies. Esta búsqueda se complementó con la consulta de bases de datos de revistas científicas en línea. Después de transcribir los listados, se agregaron las coordenadas geográficas de los sitios de muestreo de cada estudio. Cuando fue posible identificar el nombre del sitio pero no la coordenada, ésta se buscó en Google Earth, ubicándola en el centro del accidente geográfico (bahía, golfo, ciénaga). Los nombres de las especies fueron verificados con base en las revisiones taxonómicas de los grupos y el criterio de expertos. Se resolvieron las sinonimias y errores de

escritura de los nombres, hasta donde fue posible. Las especies dudosas fueron excluidas del análisis. Para comparar los listados de especies entre áreas geográficas, se utilizó un dendrograma. El grado de similitud entre áreas geográficas, denominadas *zonas* en este estudio, se representó como líneas de diferente grosor que las unían. Las líneas de similitud se superpusieron en imágenes satelitales de Google Earth para ampliar la visión geográfica, al hacerla espacialmente explícita, y para resaltar así detalles dentro de las regiones en algunas de las localidades que fueron muestreadas. Además, se apreciaron rasgos paisajísticos que facilitaron la diferenciación de zonas pobladas o intervenidas (ciudades, pueblos o caseríos), frente a zonas boscosas más conservadas. Las zonas que no están conectadas por líneas no tuvieron una relación significativa. Con las coordenadas geográficas se realizaron mapas de distribución de las especies más frecuentes y abundantes utilizando ArcGis. El diagrama de flujo del procedimiento realizado se muestra a continuación:

Metodología



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron 24 estudios sobre gasterópodos, bivalvos y poliquetos del Caribe colombiano, realizados entre 1973 y 2008. Con ellos se construyó una base de datos de la que se obtuvieron 17 localidades que se agruparon en ocho zonas (tabla 1); se registraron 215 familias, 582 géneros y 1073 especies.

Representatividad geográfica y taxonómica de los estudios

Del total de 24 estudios revisados para el Caribe colombiano, 20 estudios suministraron información para moluscos y 11 para poliquetos. La mayoría de estos estudios se centraron en tres zonas del Caribe colombiano: Urabá, Santa Marta (a) y Caribe insular oceánico (figura 1a, b, c). Para los moluscos, la zona de Santa Marta (a) presenta un mayor número de estudios, seguida de la zona de Urabá. Para los poliquetos, la zona con más estudios es el Caribe insular oceánico, seguida de Urabá. Aparentemente, Urabá ha sido una zona muy estudiada; sin embargo, esto no implica un mayor esfuerzo de muestreo y por ende un conocimiento profundo de su fauna, ya que si se analiza la información desde el punto de vista de porcentaje de taxones reportados en

estos estudios, para las zonas de Santa Marta (a), Santa Marta (b) y Tayrona se reporta un 91% de los taxones de moluscos, mientras que para Urabá solo se reporta un 3%. Para poliquetos no es diferente; para bahía Portete y Santa Marta (b) se reporta un 54% de los taxones, mientras que para Urabá un 3%. (figura 1d, f, g). Finalmente, parece ser que la cobertura espacial de los muestreos dentro del golfo de Urabá ha sido muy limitada, posiblemente debido a su gran extensión.

Comparación geográfica de la composición taxonómica

Se comparó la composición de taxones de gasterópodos, bivalvos y poliquetos reportados en los estudios entre las ocho zonas establecidas (**Anexo 9.1: figuras 9.2, 9.3, 9.4**). Con respecto a los bivalvos y gasterópodos (**Anexo 9.1: figura 9.2 y 9.3**, respectivamente) se aprecia, a *grosso modo*, una alta similitud de taxones entre Urabá y Santa Marta (a), mientras que las demás localidades presentan una baja similitud. Los poliquetos presentan una alta similitud de taxones entre Urabá y Morrosquillo (**Anexo 9.1: figura 9.4**).

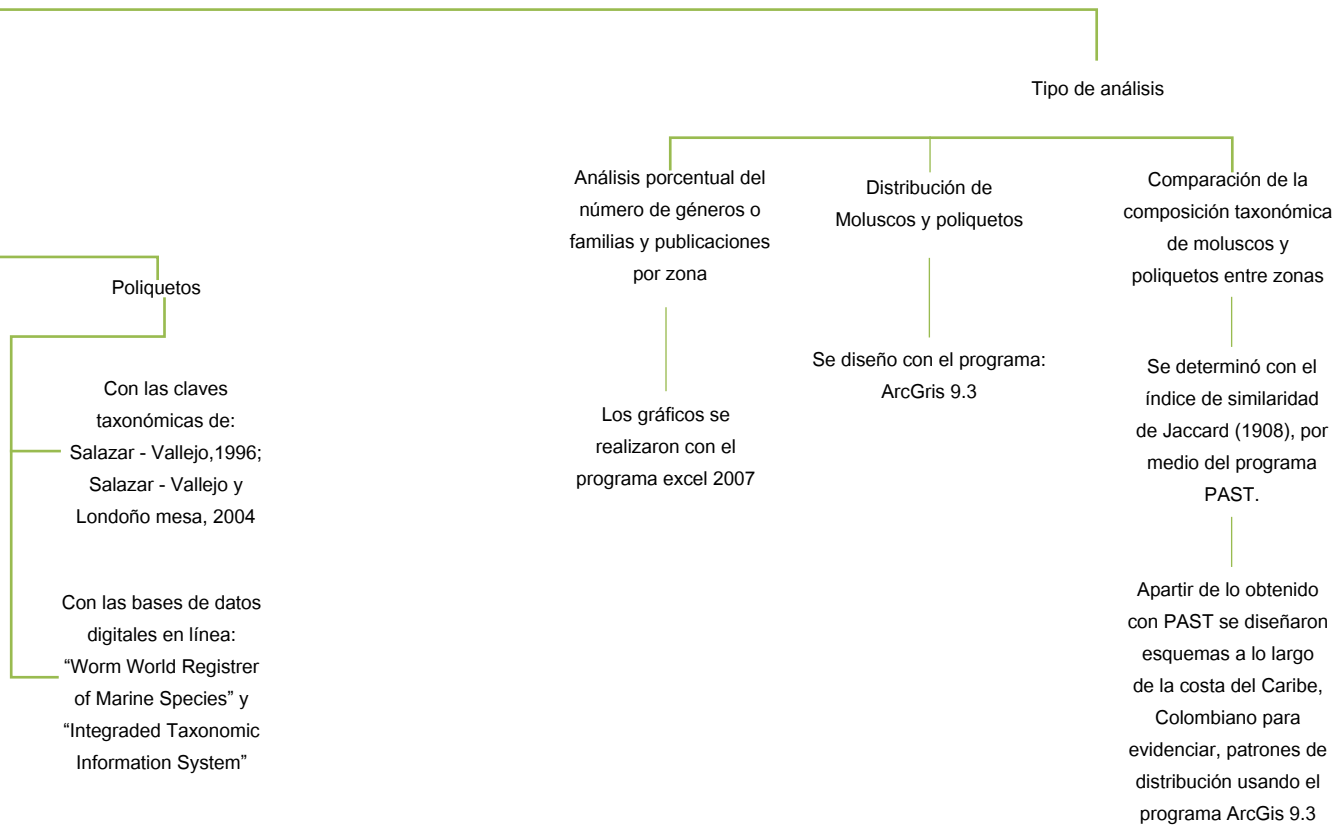


Tabla 1. Departamentos, zonas y localidades reportadas en 24 estudios del Caribe colombiano.

Departamento	Zona	Localidad
Antioquia	Urabá	Golfo de Urabá
		Bahía Marrirío
		Bahía Turbo
		Bahía El Uno
Sucre	Morrosquillo	Golfo de Morrosquillo
		Ciénaga de la Boquilla
Bolívar	Cartagena	Bahía de Cartagena
Magdalena	Santa Marta (a)	Ciénaga Grande de Santa Marta
	Santa Marta (b)	Bahía Gaira
		Costa de Santa Marta
	Tayrona	PNN Tayrona
		Bahía Neguanje
Guajira	Portete	Bahía Chengue
		Bahía Portete
San Andrés y Providencia	Caribe insular oceánico	Bahía Honda
		Bahía Hooker
		Lago McBean

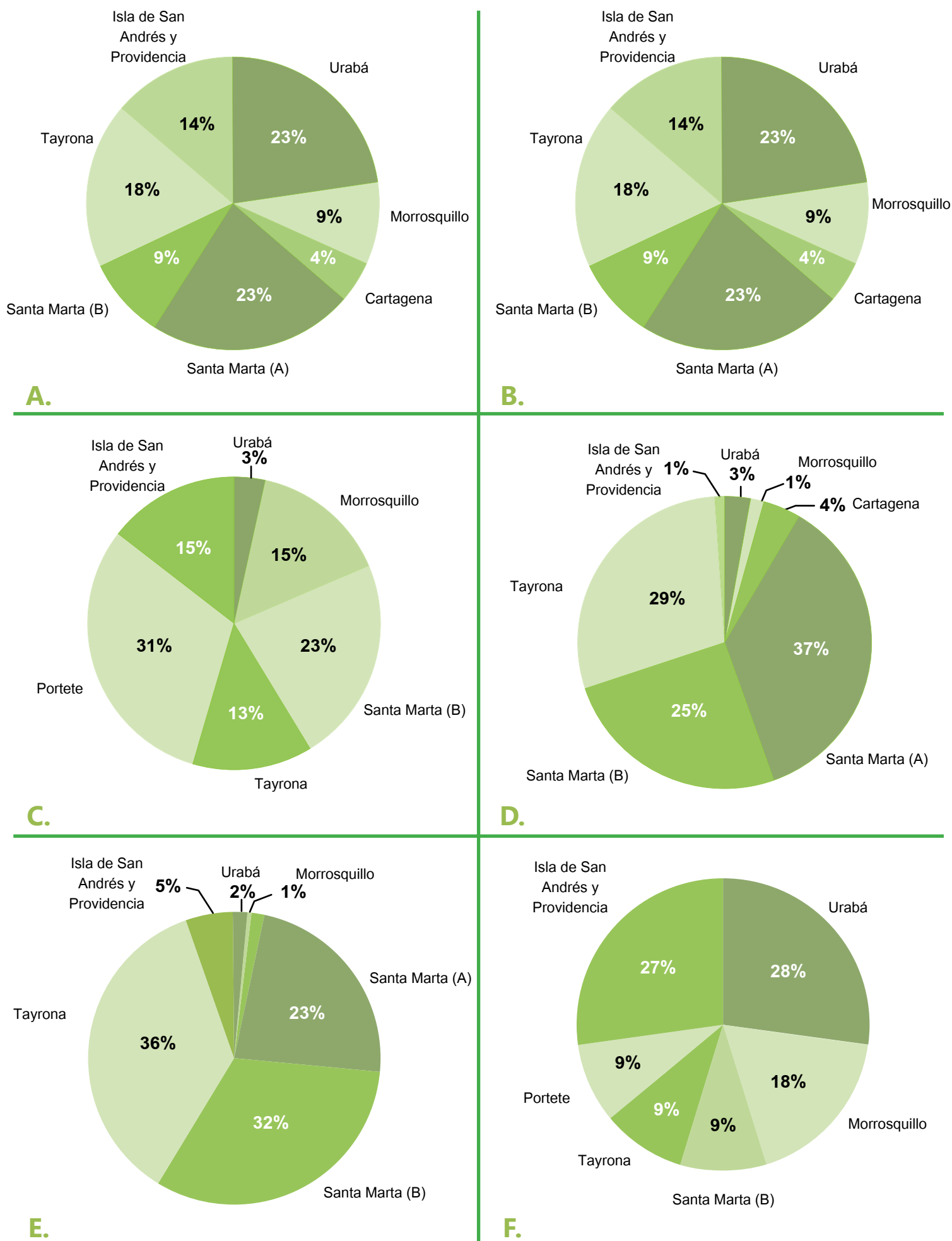


Figura 9.1 Estudios y porcentaje de taxones por zona. (A) porcentaje de publicaciones de bivalvos, (B) porcentaje de publicaciones de gasterópodos, (C) porcentaje de publicaciones de poliquetos, (D) porcentaje de géneros de bivalvos, (E) porcentaje de géneros de gasterópodos, (F) porcentaje de familias de poliquetos.

Varios factores podrían explicar los anteriores patrones. Proponemos dos hipótesis: 1) barreras ambientales para la colonización (factores ecológicos), y 2) factores involucrados en el proceso de dispersión (factores asociados a la historia y a la oceanografía). La primera hipótesis podría explicar la similitud entre Urabá y Santa Marta (a). Las dos representan las zonas estuarinas más grandes de Colombia y, por tanto, las especies presentes deben poseer adaptaciones para tolerar grandes variaciones espacio-temporales de salinidad. Los estudios disponibles para ambas zonas permiten apoyar tal hipótesis (Urabá: ver capítulo 5; Santa Marta (a): Cosel, 1973; Palacio, 1978, 1983). De hecho, los estudios realizados en la Ciénaga Grande de Santa Marta resaltan que existe una sincronización de los ciclos biológicos de dichas especies con los ciclos ambientales (Hernández y Márquez, 1987; Palacios, 1978, 1983). La segunda hipótesis podría explicar una mayor similitud de los poliquetos en zonas aledañas (Urabá y Morrosquillo). Se ha planteado que la duración de la etapa larval está relacionada con el ámbito de distribución geográfica de las especies marinas de diferentes grupos taxonómicos (Díaz 1995). El patrón de circulación de las corrientes marinas a lo largo del Caribe colombiano es de sureste a noroeste, lo cual podría explicar la dispersión de larvas. A lo largo de este patrón de variación gradual de la similitud se esperaría que las condiciones particulares de algunas zonas generen discontinuidades en la composición de la fauna (hipótesis 1). Esto se ha observado en los moluscos marinos dentro del área del Caribe sur (Díaz 1995). Adicionalmente, mientras las zonas estuarinas promueven la presencia de especies generalistas, las zonas marinas promueven la presencia de especies endémicas (solamente se encuentran en dichas zonas). Los endemismos son particularmente abundantes en las zonas insulares (Díaz, 1995; Londoño-Mesa et al., 2002). No se descarta que haya una distorsión con respecto a los patrones de distribución naturales debido a: a) la separación entre las fechas en que se realizaron los estudios; b) los diferentes métodos de muestreo; y c) errores taxonómicos dentro de cada estudio. Existen procesos geomorfológicos y ambientales a los cuales están sometidos los organismos, y que hacen que las condiciones

cambien con y en el tiempo (Cosel 1986). Entre estos procesos están la sedimentación, la erosión y los factores antropogénicos que, por lo general, han llevado a la destrucción o contaminación de los hábitats que evitan o cambian la presencia de especies (ver capítulos 2 y 3). Los estudios que se tomaron en cuenta para este análisis fueron realizados entre 1973 y 2008 bajo diferentes condiciones ambientales (a pesar de que varios trabajos son comparables, como por ejemplo Moreno, 2002 y Quiceno y Palacio, 2008). Por tanto, la composición de los taxones para algunas zonas pudo haber cambiado en un lapso de varias décadas. Por ejemplo, en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Cosel (1986) y Díaz (1994) reportaron un gran número de conchas, lo cual indica que hubo especies que ya no están en la zona, a raíz de las modificaciones geomorfológicas a mediados del siglo veinte y que cambiaron las condiciones de salinidad en la Ciénaga.

En forma conclusiva, Londoño-Mesa et al. (2002) han resaltado que las limitaciones de las claves utilizadas, y la falta de experiencia con respecto a la morfología y taxonomía de los poliquetos (y aplica para todos los grupos), han llevado a reportar muchas especies con distribuciones cosmopolitas. Revisiones más recientes han demostrado que, efectivamente, hay un mayor número de especies locales de las que anteriormente se creía (Londoño-Mesa, 2011).

Los métodos usados en los estudios analizados influyen igualmente en los resultados obtenidos. Algunos autores reportaron especies colectadas en raíces de manglar (Vilardy y Polanía, 2002; Reyes y Campos, 1992; Pérez y Victoria, 1978), mientras que otros reportaron especies colectadas en otros tipos de sustratos como formaciones coralinas, rocas, sustratos de fondos arenosos o lodosos y estructuras artificiales: con un esfuerzo de muestreo intenso para la Ciénaga Grande de Santa Marta (Cosel 1986). La forma en que se recolectan las muestras reduce las posibilidades de ampliar el espectro de especímenes presentes en cada zona; por tanto, la comparación de la composición de organismos no puede ser determinada a partir de estudios realizados, usando diferentes métodos. Sin embargo, los resultados obtenidos se aproximaron a un patrón general, el cual indicó que las zonas

que están rodeadas por ciudades y bosques de manglar han sido, aparentemente, más intervenidas (Cartagena y Santa Marta (b)), con taxones únicos, diferenciándose de las demás. Por el contrario, las localidades con bosques de manglar sin una aparente intervención, son más similares entre sí (zonas restantes). Esta investigación permitió postular algunas hipótesis que pueden someterse a prueba en estudios de campo (expediciones) posteriores, o mediante la cooperación entre grupos de investigación de diferentes áreas geográficas, siguiendo métodos estandarizados.

Distribución de las especies más comunes

Finalmente, se hicieron mapas de la distribución de los once taxones más numerosos en las 17 localidades

(tres géneros de bivalvos: *Brachidontes*, *Crassostrea* y *Mytilopsis*; tres géneros de gasterópodos: *Littorina*, *Neritina* y *Thais*; y cinco familias de poliquetos: Capitellidae, Nereididae, Sabellidae, Spionidae y Syllidae (**Anexo 9.1: figuras 9.5-9.17**)). Estos taxones también fueron los más abundantes y frecuentes dentro del golfo de Urabá (capítulos 6 y 7). Cabe resaltar que algunos estudios demuestran que los taxones no se distribuyen uniformemente dentro de algunas zonas. En las figuras se muestra cómo los accidentes geográficos a mesoescala influyen sobre su distribución. Por medio de fotos extraídas de Google Earth, se ampliaron las localidades en las cuales los estudios se llevaron a cabo; al lado derecho se muestran las fotos de los taxones, y la distribución de éstos se muestra en las imágenes satelitales mediante con un punto de diferente color.

CONCLUSIONES

El presente estudio resalta la utilidad de los estudios biogeográficos para entender los patrones de distribución de la fauna marina; en este caso, asociada a las raíces de *R. mangle*, y los factores que los determinan.

La composición de especies de moluscos y gusanos marinos mostró que el golfo de Urabá es diferente de las zonas marinas ubicadas más al norte en el Caribe colombiano. Sin embargo, tiene afinidad con zonas estuarinas, como la Ciénaga Grande de

Santa Marta, con la cual no tienen una conexión por ser distantes.

A pesar de los posibles problemas inherentes a la calidad de la información y la asincronía de los estudios, se plantea que los patrones de distribución de algunos grupos de fauna asociada a las raíces son influenciados por: 1) limitantes para la dispersión, y 2) barreras para la colonización (naturales y antropogénicas).

REFERENCIAS

- Bernal G, Toro M, Montoya LJ, Garizábal CE. 2005. *Estudio de la dispersión de sedimentos del río Atrato y sus impactos sobre la problemática ambiental costera del Golfo de Urabá*. *Gestión y Ambiente*, 8(1): 123-135
- Blanco JF. et al. 2007. *Proyecto Expedición Estuarina, Golfo de Urabá, Fase 1*. Enviado a la Gobernación de Antioquia a través del Programa Expedición Antioquia 2013. Medellín. 40 p.
- Bolaño M, Cárdenas A, Vázquez A. 2005. *Anélidos poliquetos de fondos blandos de las zonas mesolitoral e infralitoral del Golfo de Morrosquillo y su relación con parámetros físicos durante el período comprendido entre octubre de 2003 a marzo de 2004*. Barranquilla. Universidad del Atlántico.
- Brown, JH, Lomolino MV. 1998. *Biogeography*. Segunda Edición. Sinauer. Sunderland, Massachuset. 691 p.
- Cosel R. 1973. *Lista preliminar de los Moluscos de la Ciénaga Grande de Santa Marta (Colombia)*. *Mitteilungen aus dem Instituto colombo-alemán de investigaciones científicas de Punta de Betín*, 7: 47-56
- Cosel R. 1986. *Moluscos de la región de la Ciénaga Grande de Santa Marta (Costa del Caribe de Colombia)*. *Anales del instituto de investigaciones marinas de Punta Betín*, 15-16: 79-370.
- Díaz JM. 1994. *La Malacofauna de la Zona Costera de Santa Marta y Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe colombiano*. *Anales del instituto de investigaciones marinas de Punta Betín*, 23(1): 79-370.
- Díaz JM. 1995. *Zoogeography of marine gastropods in the Southern Caribbean: A new look at provinciality*. *Caribbean Journal of Science*: 31(1):104-121.
- Duque F. 1979. *Malacofauna de Aguas Someras y Substrato rocoso en la Bahía de Nenguage*. *Boletín del Museo del Mar*, 9: 3-29
- García JM, Correa JD. 2006. *Macroinvertebrados y Peces Asociados a las Raíces Sumergidas del Mangle Rojo (Rhizophora mangle) en las Bahías de Turbo y El Uno, Golfo de Urabá*. Turbo. Universidad de Antioquia.
- García JM, Palacio J. 2008. *Macroinvertebrados asociados a las raíces sumergidas del Mangle Rojo (Rhizophora mangle) en las bahías Turbo y El Uno, Golfo de Urabá (Caribe colombiano)*. *Gestión y Ambiente*, 11(3): 55-66
- Guzmán-Alvis AI, Carrasco F. 2005. *Taxonomic aggregation and redundancy in a tropical macroinfaunal assemblage of the southern Caribbean in the detection of temporal patterns*. *Scientia Marina*, 69(1): 133-141
- Guzmán-Alvis AI, Lattig P, Ruiz JA. 2006. *Spatial and temporal characterization of soft bottom polychaetes in a shallow tropical bay (Colombian Caribbean)*. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. 35: 19-36
- Hernández CA, Márquez G. 1987. *Potencial cosechable de la ostra Crassostrea rhizophorae (Guilding), en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia*. *Acta Biológica Colombiana*, 1(3): 25-40.
- Llano-Medina R. 1988. *Ecología de la Fauna asociada a las raíces del mangle Rhizophora mangle en la bahía de Marirrí (Urabá)*. Medellín. Universidad de Antioquia.
- Londoño-Mesa M.H., Polanía J, Vélez I. 2002. *Polychaetes of the mangrove-fouling community at the Colombian Archipelago of San Andrés and Old Providence, Western Caribbean*. *Wetland Ecology and Management*, 10: 227-232

- Londoño-Mesa, M.H. 2011. *Terebélidos (Terebellidae: Polychaeta: Annelida) del Caribe colombiano*. Revista Biota Colombiana, 12(1): 17-37.
- Marín-Zambrana BG. 2002. *Lagunas costeras y estuarios*. Páginas 183-206. INVEMAR, Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: 2001. Serie de documentos generales. Santa Marta. 235 p.
- Moreno PA. 2002. *Taxocenosis Anellida - Mollusca - Crustacea asociada a las raíces sumergidas de Rhizophora mangle en San Andrés Isla, Caribe Colombiano*. Bogotá. Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Palacio J. 1978. *Variación de la fauna de invertebrados del área estuárica de la Ciénaga Grande de Santa Marta en relación con los cambios de salinidad*. Anales del instituto de investigaciones marinas de Punta Betín, 10: 111-126
- Palacio, J. 1983. *Die benthische makroinvertebratenfauna der tropischen asturarregion Ciénaga Grande de Santa Marta (Kolumbien) und ihre aktivitat im wechsel zwischen trocken- und regenzeit*. Disertación Doctor en Recursos Naturales. Universidad de Bochum, Alemania.
- Pérez ME, Victoria CH. 1978. *Algunos aspectos de la comunidad asociada a las raíces sumergidas del mangle rojo en dos áreas del Caribe colombiano*. En: Estudio científico e impacto humano en el ecosistema de manglares. Memorias del seminario organizado por la UNESCO con el auspicio de Colombia.
- Prüssmann-Urbe J, Palacio J. 2008. *Colonización de moluscos y crustáceos en raíces de mangle rojo en una laguna costera de la punta norte del Golfo de Morrosquillo*. Gestión y Ambiente, 11(3): 77-86
- Quiceno PA, Palacio JA. 2008. *Aporte al conocimiento de los macroinvertebrados asociados a las raíces del mangle (Rhizophora mangle) en la ciénaga de la Boquilla, municipio de San Onofre, Sucre*. Gestión y Ambiente, 11(3): 67-78
- Reyes R, Campos NH. 1992a. *Moluscos, anélidos y crustáceos asociados a las raíces de Rhizophora mangle linnaeus, en la región de Santa Marta, Caribe colombiano*. Caldasia, 17(1): 133-148
- Reyes R, Campos NH. 1992b. *Macroinvertebrados colonizadores de raíces de Rhizophora mangle en la bahía de Chengue, Caribe colombiano*. Anales del instituto de investigaciones marinas de Punta Betín, 21: 101-116
- Rojas LJ, Palacio J. 2003. *Contribución al conocimiento de la fauna de macroinvertebrados asociados a las raíces de Rhizophora mangle en el Golfo de Urabá*. Medellín. Universidad de Antioquia.
- Román C. 1991. *Inventario preliminar acerca de la macrofauna asociada a las raíces del mangle en el Golfo de Urabá, Caribe colombiano*. Informe final de actividades, contrato No. 0007. CORPOURABA, División de Recursos Hidrobiológicos (CIMUR). Apartadó. 44 pp.
- Romero-Murillo. 2004. *Composición taxonómica y proceso sucesional de la fauna asociada a raíces sumergidas de Rhizophora mangle de San Andrés isla*. Bogotá. Universidad Jorge Tadeo lozano.
- Salazar-Vallejo, S.I. 2000. *Biogeografía marina del Gran Caribe*. Interciencia, 25 (1): 7-12.
- Vermeij, G. J. 1978. *Biogeography and adaptation. Patterns of marine life*. Harvard University Press. EUA. 332p
- Vilardy S, Polanía J. 2002. *Mollusc Fauna of the Mangrove Root-fouling community at the Colombian Archipelago of San Andrés and Old Providence*. Wetland Ecology and Management, 10: 273-282





CAPÍTULO 10

Síntesis final:
Sectorización preliminar del litoral de
la Unidad Ambiental Costera (UAC)
Darién chocoano-golfo de Urabá-
Caribe Antioqueño



Síntesis final:

Sectorización preliminar del litoral de la Unidad Ambiental Costera (UAC) Darién chocoano-golfo de Urabá-Caribe Antioqueño

Juan F. Blanco, Iván Darío Correa-Arango, Andrés F. Osorio, Ligia E. Urrego, Jaime Polania, Gladys Bernal, Mario H. Londoño-Mesa, Lizette I. Quan-Young, Edgar Andrés Estrada, Johanna Prüssmann-Urbe, Astrid Eugenia Garrido-Escobar, Luis G. Molina, Juan D. Osorio, Eliana C. Molina, July A. Suárez, Hiara Y. Ruíz, Eliana Gómez, Luis Ferney Ortiz-Acevedo, Catalina Arteaga-Flórez, & Kathleen Hurtado-Santamaría.

Resumen: La región del Darién-Urabá-Caribe antioqueño o Caribe sur es un mosaico geomorfológico compuesto por cinco sectores: 1) Darién chocoano, 2) Delta del río Atrato-planicie aluvial del río Suriquí, 3) Planicies aluviales entre el río León y punta Caribaná, 4) Planicie fluvio-marina entre punta Caribaná y punta Gigantón, y 5) Plataforma sedimentaria terciaria entre punta Gigantón y punta Rey. Con respecto a la dinámica del oleaje, sólo se presentan dos zonas: 1) ubicada al norte de los deltas de los ríos Atrato y Turbo, dominada por oleaje de fondo que se origina en el mar Caribe, y que puede estar afectada por huracanes y tormentas tropicales, y 2) ubicada al sur de dichos deltas, dominada por oleaje local formado por el viento y responsable de las mareas y mares de leva. La extensión y estructura de los manglares está moldeada por la geomorfología y la dinámica del oleaje, siendo menos extensos y desarrollados en el Darién y en el Caribe antioqueño y más extensos, desarrollados y dominados por *Rhizophora mangle*, en el delta del río Atrato. Los manglares del litoral oriental del Golfo son de extensiones variables, a causa de una combinación de factores naturales y antropogénicos y, en algunos casos, dominados por *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*. La fauna y la flora asociadas a las raíces de los mangles también parecen estar influenciadas por una combinación de factores; no obstante, es evidente que la naturaleza estuarina del Golfo ha conducido a una baja riqueza en los moluscos (8 especies), gusanos poliquetos (11), micro y macroalgas (19) y foraminíferos de los sedimentos (30). En términos de composición, hay una diferencia entre el área del delta del río Atrato y el área de la ensenada de Rionegro y el Caribe chocoano y antioqueño. En general, se observó una clara dominancia por parte de pocas especies tolerantes a las condiciones estuarinas, así: moluscos *Mytilopsis* sp. y *Brachidontes* sp.; poliquetos: familia Nereididae; macroalgas: complejo *Bostrychietum*; y foraminíferos: aglutinadas (*Milliammina fusca*, *Haplophragmoides canariensis*, *Trochammina squamata* y *Arenoparrella mexicana*). Esta sectorización será de gran importancia como base para tener en cuenta en los planes de manejo costero y de ordenamiento.

Abstract: The Darién-Urabá-Antioquian Caribbean region or Southern Caribbean is a geomorphic mosaic consisting of five sectors: 1) Darién-Chocó, 2) Atrato River Delta-Suriquí River coastal plain, 3) Coastal plains between León River and Punta Caribaná, 4) Fluvio-Marine plain between Punta Caribaná and Punta Gigantón, y 5) Tertiary sedimentary platform between Punta Gigantón and Punta Rey. Regarding wave dynamics, only two zones were evident: 1) to the North of Atrato River Delta and Turbo River Delta, where waves are formed from the sea in the Caribbean and influenced by hurricane and tropical storm surges; and 2) to the South, local wind fetch promotes the dominant swells responsible for surges and over wash ("maretas" and "mares de leva"). The extension and structure of mangroves are shaped by both, geomorphology and wave dynamics. Mangroves are less extensive and developed in Darién and the Antioquian Caribbean, and more extends, developed and dominated by *Rhizophora mangle* in the Atrato River Delta. Mangroves at the Eastern coast are variable in area, due to a combination of natural and anthropogenic factors, dominated by *Avicennia germinans* and *Laguncularia racemosa*. Fauna and flora associated to the mangrove aerial roots are seemly by a number of factors, but it is evident that the estuarine nature of the Gulf is responsible for the low richness in mollusks (8 species), polychaete worms (11), micro- and macro-algae (19) and foraminifera from sediments (30). In terms of composition, the Atrato River Delta was different from the Rionegro Cove, and the Caribbean. In general, a few estuarine taxa were conspicuous [mollusks: *Mytilopsis* sp. y *Brachidontes* sp., polychaetes: Nereididae, macroalgae: *Bostrychietum* complex, and benthic foraminiferans: agglutinated (*Milliammina fusca*, *Haplophragmoides canariensis*, *Trochammina squamata*, *Arenoparrella mexicana*]. This sectoring would be important for supporting coastal zone planning and land management.

INTRODUCCIÓN

Históricamente, una de las principales falencias sobre el conocimiento del ambiente costero-marino del golfo de Urabá como unidad geomorfológica fue la fragmentación de la información. Esta fragmentación obedeció a dos aspectos: a) fragmentación geográfica, y b) fragmentación disciplinar. Con respecto a la fragmentación geográfica, los estudios forestales y los geológicos y geomorfológicos se habían enfocado en la costa oriental del Golfo o en la costa del Darién chocoano. Por otra parte, mientras existía un conocimiento relativamente profundo de algunas áreas como la bahía de Marirrí, la ensenada de Rionegro y el área de Turbo, poco se conocía del delta del río Atrato. Finalmente, la costa norte o Caribe del departamento de Antioquia no había sido abordada por muchos estudios biológicos. Con respecto a la fragmentación disciplinar, los diferentes estudios sobre la ecología, geología y geomorfología, así como la dinámica oceanográfica del Golfo, tenían poco solapamiento espacial. Ahora bien, la cartografía base también era inexistente o estaba desactualizada en muchas áreas geográficas. Lo anterior mostró la necesidad de levantar una cartografía temática. La presente investigación quiso aportar dicho producto a partir de ortofotografías con resolución 1:10.000, de acuerdo a los siguientes objetivos:

1. Identificar las áreas de manglares de la totalidad del golfo de Urabá y el Caribe antioqueño.
2. Describir los patrones estructurales y biogeográficos de las especies de manglares, y de las comunidades de macroinvertebrados asociados a las raíces de los manglares, con base en información primaria y secundaria.
3. Construir una base de datos con descripciones de las unidades geomorfológicas, sedimentología, procesos oceanográficos costeros, unidades vegetales, estructura vegetal del manglar, y listados de especies de grupos específicos de macroinvertebrados asociados a las raíces (e.g. poliquetos y moluscos), para algunas áreas dentro del Golfo, enfatizando en las aún no exploradas.

Lo tratado en los anteriores capítulos buscó cumplir dichos objetivos, principalmente los dos primeros. El tercer objetivo se cubrió por medio de la generación de una *geodatabase* en un sistema de información geográfica. Sin embargo, los datos crudos y los tratados enciclopédicos no tienen utilidad si no se organizan dentro de un esquema.

Este capítulo tiene como objetivo sintetizar de manera visual o por cartografía temática la información generada sobre la geomorfología, la hidrodinámica costera, las comunidades vegetales, los foraminíferos y las características de los sedimentos, así como la fauna y flora asociadas a las raíces de los manglares. Debido a la escala (1:10.000) que dificulta su impresión, se realizaron planchas más pequeñas que mantuvieran el aspecto, a la vez que contuvieran una escala gráfica.

Con este producto se realizaron talleres con las comunidades proyectando generar actitudes de valoración y respeto por el medio ambiente, a través de la educación ambiental, y contribuir al entendimiento de los problemas de sedimentación y erosión en el Golfo y el papel que los manglares juegan en ellos. No obstante, el proceso de elaboración de la cartografía contribuyó a la inclusión y educación informal de los habitantes de las comunidades rurales, mediante la vinculación de habitantes de la zona de muestreo a la investigación, y a la verificación de la información topográfica. Se considera que la presente cartografía temática y el recorrido virtual anexo, al igual que los capítulos anteriores, aportarán información de base para apoyar los procesos de manejo integrado de la zona costera de la región de Urabá, así como los planes de ordenamiento territorial de los municipios con jurisdicción en el Golfo.

A causa de que el golfo de Urabá es espacialmente heterogéneo, la cartografía temática se estructuró espacialmente utilizando como referencia la geomorfología costera (ver capítulo 2). Se propone que el Golfo se subdivide en los siguientes cinco (5) sectores:

1. Sector Darién chocoano.
2. Sector Delta del río Atrato-planicie aluvial del río Suriquí.
3. Sector Planicies aluviales entre el río León y punta Caribaná.
4. Sector Planicie fluvio-marina entre punta Caribaná y punta Gigantón.
5. Sector Plataforma sedimentaria terciaria entre punta Gigantón y punta Rey.

Las anteriores, por ser unidades geomorfológicamente naturales, se podrían utilizar como sub-unidades de manejo dentro de la *Unidad Ambiental Costera* (UAC) Darién: una unidad de manejo ambiental dentro del sur del Caribe colombiano.

SECTORIZACIÓN

Sector 1: Darién chocoano (entre Sapzurro y boca Tarena)

Geomorfología (Anexo 10.1: Mapa EA2010002094):

Este sector es un ejemplo de litoral irregular cuya configuración depende, en primera instancia, de la topografía de las colinas rocosas, principalmente basálticas, con alta dureza y resistencia a la erosión, en comparación con el relieve costero del sector occidental del Golfo. Aquí, las laderas de las colinas se sumergen directamente hacia el mar, formando un frente acantilado de alturas de hasta 15-20 m, con numerosas salientes y entrantes menores que reflejan resistencias diferentes al embate de los oleajes, en función de la presencia de fracturas abundantes en las rocas. Las escarpadas colinas del Darién alcanzan alturas máximas aproximadas de 300 m y están constituidas, principalmente, por intercalaciones de rocas volcánicas y sedimentarias, las cuales se formaron en las épocas Cretácica y Terciaria. Estos relieves evidencian el levantamiento paulatino del llamado istmo de Panamá, cuya formación generó a Centroamérica y separó completamente los océanos Atlántico y Pacífico, hace alrededor de 3 a 3,5 millones de años.

En el sector comprendido entre las bahías El Aguacate y Sapzurro, se presenta una superficie coralina ubicada entre 1 y 2 m por encima del nivel del mar

(terrazza coralina emergida), en la que se encuentran restos reconocibles de corales escleractíneos; los cuales son evidencias claras de la ocurrencia de cambios relativos entre el nivel del mar y la tierra, debido probablemente a levantamientos geológicos del sector. El litoral rocoso de El Darién presenta, además, numerosas evidencias geomorfológicas de erosión y retroceso continuado de sus contornos, a mediano y largo plazo (décadas, siglos). Están dadas especialmente por la presencia de islotes y peñascos separados de “tierra firme”, y por la formación de rasgos como arcos y cavernas en las bases de los acantilados. En este sector, los relieves de colinas y el tamaño relativamente pequeño de las cuencas de drenaje, no ofrecen ni el espacio ni los sedimentos suficientes para conformar planicies fluvio-marinas extensas, exceptuando las ubicadas al sur de Acandí, relacionadas con los depósitos de sedimentos de los ríos Acandí, Tolo y Negro, este último en el sector de Playona.

Hidrodinámica: El oleaje predominante en este sector es de tipo *Swell* (o de fondo), el cual está asociado con períodos de 11 segundos y alturas de olas de 1.5 m, con dirección noroeste (NW) para la época seca, y 8 segundos y alturas de olas de 0.7 m, con dirección noroeste (NW) para la época húmeda, con las condiciones medias de oleaje y viento.

Manglar (Anexo 10.1: Mapa EA2010002099). Se encuentran fragmentos muy pequeños de manglar de borde distribuidos en pocos sitios a lo largo de la costa. En Sapzurro se encuentra un caño con lecho coralino y sedimentos arenosos, que tiene aguas oscuras y bajo caudal. Allí se encontró un pequeño relicto de manglar altamente intervenido, combinado con especies de jardín como *Hibiscus tiliaceus rosa-sinensis*. Este manglar se encuentra compuesto por pocos individuos de *Rhizophora mangle*, con DAP de 12-15 cm, y en mayor cantidad de *Laguncularia racemosa*, con DAP de 12-15 cm. La presencia de tocones indica que de este manglar se han extraído los individuos grandes. Se encuentra el helecho *Acrostichum aureum* abundantemente, en la margen derecha del caño, reflejando la intervención del mismo. En pequeñas bahías como El Aguacate, se encuentra una plataforma coralina superficial por donde corre una quebrada que llega al mar, en algunos casos, por debajo de la plataforma. Allí hay un manglar compuesto principalmente por *Conocarpus erectus*, pues es un suelo superficial (directamente sobre la plataforma coralina): lo cual induce la formación de sistemas radiculares superficiales, condición que no es tolerada por la mayoría de especies de manglar. Este manglar está muy cerca de las casas y recibe abundantes residuos del grupo humano asentado allí. En playa Sardí hay una playa trasera ocupada por *A. aureum*, *Montichardia arborescens* y organismos de la familia Rapateacea, en una franja paralela hasta llegar a un caño. En la parte izquierda de esta playa se encuentra un caño colonizado por manglar; en éste se encontraron las especies *R. mangle* y *L. racemosa*. En Titumate hay una pequeña bahía con un manglar de borde que se une al que se encuentra en un caño, en el extremo derecho de la bahía. En este manglar se observa *A. aureum*, *Hippomane mancinella* y *Terminalia cattapa*, acompañando las especies típicas de manglar como *R. mangle* y *L. racemosa*. Este manglar se encuentra altamente contaminado por el vertimiento de desechos sólidos; en éste se puede observar una gran cantidad de desechos no biodegradables, tales como plásticos y vidrios a lo largo del caño. Así mismo, al norte de esta bahía, en algunos sectores de la playa, se encuentra una capa muy gruesa de detritos orgánicos. Estos sitios se encuentran dominados por *L. racemosa* y *C. erectus*. Hacia el interior del manglar se encuentra

abundantemente *Hibiscus tiliaceus* y *A. aureum*. En la margen izquierda se encuentra *R. mangle* con sistemas radiculares densos y, relativamente, poca regeneración. Así mismo, se encuentra regeneración de *R. mangle* muerta, acompañada de abundante regeneración de *Pterocarpus officinalis* y *L. racemosa*. Posterior a la visita, los habitantes de la zona mencionaron que hay un manglar establecido en la bahía de Pinorroa.

Foraminíferos y sedimentos: No se realizó el análisis de estas muestras en el componente de foraminíferos; por no tener permiso para la toma de muestras.

Fauna y flora asociada a las raíces del manglar rojo (*Rhizophora mangle*) (Anexo 10.1: Mapa EA20100020104): No se realizó el análisis de este sector para este componente por no tener permiso de colecta de muestras. Sin embargo, en la bahía de Sapzurro se observó que en el caso de los moluscos sólo se presentó el bivalvo *Mytilopsis* spp. En Titumate se presentó una comunidad más rica (y con mayor abundancia y tallas) compuesta por *Mytilopsis* spp., *Brachidontes* sp., *Neritina virginea*, *Littorina angulifera* y *Potamopyrgus* sp. La presencia de *L. angulifera* en estos manglares, y sobre los troncos varados en la playa, indica la predominancia de condiciones de salinidad marina. Nótese el bajo número de quebradas que desembocan al mar.

Sector 2: Delta del río Atrato

Geomorfología (Anexo 10.1: Mapa EA2010002095): Esta área corresponde a la superficie actual de una cuenca de sedimentación geológica llamada *Geosinclinal de Bolívar*, y contiene más de 5 km de espesor de rocas del Terciario y de sedimentos del Cuaternario, dispuestos sobre la corteza continental. Probablemente, esta zona es actualmente un sector en subsidencia debido al enorme peso que conlleva tal acumulación de rocas y sedimentos. El lóbulo principal del delta del río Atrato es el mejor ejemplo, en el área de estudio, sobre la conformación de nuevos terrenos litorales a costa del mar (*progradación costera*) durante los pasados 5000 años. En términos generales, el sector está relativamente protegido de los oleajes y corrientes asociadas,

lo cual ha posibilitado el avance individual de los diferentes brazos y depósitos asociados en un patrón irregular, digitado. La morfología del delta evidencia que el factor principal en su formación es la gran cantidad de aportes de sedimentos del río, que no alcanzan a ser distribuidos a lo largo del litoral por las corrientes de mareas y oleajes. La planicie aluvial se ha ido formando progresivamente a lado y lado de los canales principales, y está constituida por sedimentos lodo-arenosos depositados en sectores de aguas relativamente calmas. Los canales (distributarios) del río Atrato están separados de la planicie aluvial por montículos (diques naturales), conformados por lodos que se depositan durante los períodos de inundaciones y caudales mayores. Los planos intermareales colonizados por manglar corresponden a depósitos de materiales finos, dispuestos a ambos lados de los brazos principales, y coincidiendo con las bahías del delta, protegidas la mayor parte del tiempo de la incidencia de oleajes fuertes y de las corrientes de descargas del río.

Hidrodinámica: Este sector corresponde a una zona de transición, en el cual se presentan ambos tipos de oleaje (*Sea* y *Swell*), a raíz de que el delta del río Atrato actúa como barrera natural, disipando la energía del oleaje de fondo (*Swell*), y generando dos zonas: una primera zona justo al frente del delta del río Turbo, aún con influencia de oleaje tipo *Swell*, el cual está asociado a períodos de 8 a 10 segundos, correspondientes a alturas de olas entre 0,8 y 0,6 m con dirección noroeste (NW); y otra zona al frente del delta del río Atrato con influencia de oleaje tipo *Sea*, asociado a períodos de 3 segundos, correspondientes a alturas de olas entre 0,2 y 0,4 m con dirección noreste (NE, tanto para la época seca como la húmeda), para las condiciones medias de oleaje y viento. Además, se evidencia hacia el sur del Golfo (bahía Colombia), una segunda zona con características de oleaje tipo *Sea* (Oleaje Local), asociado a períodos de 4 segundos, correspondientes a alturas de olas entre 0,4 y 0,6 m con dirección noroeste (NW), tanto para la época seca como para la húmeda, para condiciones medias de oleaje y viento.

Manglar (Anexo 10.1: Mapa EA2010002100):

Esta zona se encuentra cubierta casi completamente por coberturas de vegetación natural, distribuidas de la siguiente manera: Enfrentados al mar se encuentran bosques de manglar, específicamente manglares de borde, ubicados en franjas de amplitud variable, y con bajas salinidades ($5,3 \pm 1,5$ ppm aproximadamente). En esta zona se registra la mayor extensión de manglares del Golfo (78,3% del área cubierta por manglares). En términos estructurales, los árboles presentan los mayores diámetros promedio (17,07 cm) y alturas promedio (7,70 m) de los manglares del Golfo. Las distribuciones diamétricas y de altura en "J" invertida, indican que es un ecosistema en estado sucesional avanzado. En este manglar, *R. mangle* y *L. racemosa* son las especies dominantes (IVI de 215,46% y 48,68% respectivamente), con participaciones menores de otras especies de manglar como *A. germinans* y *Pelliciera rhizophorae* (IVI de 7,95% y 5,62% respectivamente). El estado fitosanitario de este manglar no es bueno; por un lado, se registra la acción barrenadora del molusco *Neoteredo reynei* en individuos adultos de *R. mangle* y *L. racemosa*. Adicionalmente, el 32,5% de los árboles con DAP > 5 cm presentaron agallas. Éstas se registraron principalmente en individuos de *R. mangle* y en menor proporción en *L. racemosa*. Ambos están deteriorando la salud del ecosistema, y, por tanto, constituyen una amenaza grave para la sobrevivencia de los manglares de Bocas del Atrato. Otra cobertura vegetal es el "panganal", bosques de influencia aluvial, dominados por la palma *Raphia taedigera*, los cuales se encuentran en el límite con los manglares y ocupan extensas áreas tierra adentro; se caracterizan por inundación aluvial permanente y poca o nula influencia marina. *Raphia taedigera* (IVI de 130,5) es la especie con mayor importancia ecológica, seguida por *Pachira acuatica* (IVI de 36,87), de modo que las demás especies tienen muy bajas participaciones en la composición de estos bosques (IVI entre 24,14 y 2,12). Detrás de los manglares, en las márgenes de los ríos, aparece una asociación, inundada por aguas dulces y salobres, dominada por *Montrichardia arborescens*, conocida como "arracachal". Estos se presentan en algunas márgenes de las corrientes de agua dulce,

formando franjas muy delgadas en los bordes de los manglares y los bosques aluviales, y en los cauces abandonados de los ríos. También se encuentran “ranconchales”, dominados principalmente por *Acrostichum aureum*, otros helechos no identificados y esporádicamente *M. arborescens*. Los ranconchales se encuentran bajo el dosel de los manglares más intervenidos en agrupamientos densos que ahogan la regeneración del suelo, o forman islas cerca de los manglares. Cubriendo las múltiples depresiones interiores de las corrientes de agua se encuentran algunos pastos y vegetación flotante; esta vegetación prolifera en zonas de amplios aclareos y aprovechamientos sin ningún tipo de manejo del manglar, y en zonas de sedimentación reciente. Finalmente, en el río Suriquí se encuentra un pequeño fragmento de manglar de borde (37,9 ha), cubriendo la desembocadura de este río y dominado por *R. mangle*.

Foraminíferos y sedimentos: En el delta del río Atrato se presentaron abundancias variables de foraminíferos, siendo la más alta en bahía La Paila y las más bajas en las riberas del delta. En la mayoría de las estaciones se presentaron entre 6 y 10 especies, entre las cuales se encontró que las que dominan el sector son *Milliammina fusca*, *Arenoparrella mexicana*, *Haplophragmoides canariensis*, *Eponides bradyi* y *Trochammina squamata*. En cuanto a sedimentología, en este sector predominan los valores de materia orgánica por encima del 40%, contenidos de carbonatos (>3%) y los lodos arenosos (% lodos entre 45 y 90).

Fauna y flora asociada a las raíces del mangle rojo (*Rhizophora mangle*) (Anexo 10.1: Mapa EA2010002105): Los manglares de este sector son pobres en especies y dominaron alternativamente *Mytilopsis* spp. y *Brachidontes* sp., especies de moluscos bivalvos tolerantes a condiciones estuarinas del agua. También abundaron los gusanos poliquetos de la familia Nereididae y la asociación algal *Bostrychietum* (*Bostrychia-Caloglossa*), los cuales son típicos de manglar. Es el sector donde se encontró mayor abundancia de moluscos. La abundancia de la ostra del manglar y del caracol *Neritina virginea* estuvo correlacionada positivamente con el manglar. Debido al desplazamiento de las plumas turbia

del río Atrato al norte y sur, se atrapan grandes masas de agua mar que permanecen con mayor salinidad que las aguas fluviales, presentándose diferencias de salinidad de hasta 10 ppm.

Sector 3: Planicies aluviales entre el río León y punta Caribaná

Geomorfología (Anexo 10.1: Mapa EA2010002096):

Sobre el costado este del Golfo, se definen pequeñas planicies fluvio-marinas asociadas a los valles inferiores y a los deltas de los ríos Caimán Viejo, Caimán Nuevo, Turbo, Guadualito y Currulao. Hacia el sur del Municipio de Turbo, los deltas de los ríos Guadualito y Currulao, son acumulaciones recientes de sedimentos lodosos cuyo origen parece estar relacionado, en parte, con la desviación de canales. En el delta actual del río Turbo se identifica una planicie fluvio-marina progradante (avanzando hacia el mar), conformada por su planicie aluvial, pantanos de manglar y por conjuntos de cordones de playa, el más externo de los cuales se extiende hasta punta Yarumal. El origen de este delta data de 1958, fecha en la cual se desvió artificialmente su desembocadura, originalmente en el extremo norte de la actual bahía de Turbo. La denominada espiga de Turbo, que define a la bahía de Turbo, es una construcción de cordones de playas y depósitos aluviales bordeada al interior por pantanos vegetados. El examen preliminar del mapa del Brigadier Francisco Fidalgo, realizado en alguna fecha entre 1792-1823, sugiere que la *espiga de Turbo* no existía en ese entonces: por tanto es una construcción de sedimentos que no debe tener más de 200 años. La evolución histórica de la *espiga de Turbo* es en la actualidad un ejemplo muy representativo de pérdidas de playas y terrenos adyacentes, asociadas tanto a condiciones naturales como inducido por intervenciones antrópicas. Los inventarios de su evolución temporal durante las últimas décadas, basados en la comparación de aerofotografías y testimonios de sus habitantes, evidencian pérdidas continuadas de playas de decenas de metros, que han y están impactando fuertemente la infraestructura física y turística de la zona. La información disponible sugiere que, en el contexto histórico examinado, el frente de la espiga ha estado siempre en erosión y que ésta se aceleró y generalizó a partir de la desviación de

la desembocadura del río Turbo, cuyo delta actual retiene el tránsito de arenas que viene desde el norte, e interrumpe la alimentación de las playas de la espiga.

Adicionalmente, el déficit de arenas en esta zona se relaciona probablemente con la extracción intensiva de arenas de playa durante las últimas seis décadas, y con las inadecuadas respuestas ingenieriles de basar la defensa de las playas en la construcción de espolones, para estabilizar áreas deficitarias en arena. El crecimiento del delta del río Turbo -y la formación de la espiga y punta Yarumal- ha ofrecido condiciones para la formación de planos intermareales de importancia, que han sido colonizados gradualmente, y en algunas zonas intercalados con sectores de la planicie fluvial del río, y con sus conjuntos de cordones de playa. Hacia el sur, los bordes internos de la bahía de Turbo (cuya formación no parece tener más de 200 años, según lo sugieren las comparaciones con mapas antiguos) y los sectores bajos adyacentes, corresponden básicamente a planos intermareales vegetados por manglar, talados y desecados intensivamente.

La ensenada de Rionegro (que corresponde a una ciénaga) ilustra un ejemplo de planos intermareales vegetados por manglar con una edad mínima de 200 años. En el interior de la ensenada, las condiciones calmas permitieron la formación de planos intermareales de borde, y el desarrollo de manglares. En la actualidad, el cordón litoral externo que aísla a la ensenada del mar abierto está erosionándose rápidamente, hasta el punto de segmentarse por la formación de una nueva boca en su sector occidental.

Hidrodinámica: Este sector se divide, desde el punto de vista hidrodinámico, en dos zonas: Una primera zona desde bahía Colombia y el límite de los deltas del río Atrato y Turbo, la cual se caracteriza por presentar principalmente oleaje de tipo Sea, el cual está asociado a períodos de 4 segundos, correspondientes a alturas de olas de 0,4 m con dirección nornoroeste (NNW), tanto para la época seca como la húmeda. Y una segunda zona, desde el límite de los deltas del río Atrato y Turbo hasta punta Caribaná, para la cual el oleaje predominante es de tipo Swell, el cual está asociado a períodos de

11 segundos, correspondientes a alturas de olas de 0.6 m con dirección noroeste (NW) para la época seca, y períodos de 8 segundos, correspondientes a alturas de olas de 0.4 m con dirección noroeste (NW) para la época húmeda. Este comportamiento del oleaje está basado en las condiciones medias de oleaje y viento.

Manglar (Anexo 10.1: Mapa EA2010002101):

Los manglares de esta zona se encuentran representados por fragmentos de bosque ubicados en Puerto César, punta Coquito, Turbo, Caimán Nuevo y la ensenada de Rionegro. Cada uno con diferentes estados de desarrollo estructural y de conservación. En la ensenada de Rionegro se presentan fragmentos de manglar de borde con diámetros promedio de 10,37 cm, y alturas promedio de 13,04 m. El manglar ribereño cubre 240,7 ha y presenta diámetros y alturas promedio de 15,33 cm y 9,84 m, respectivamente. Los manglares en estado sucesional temprano cubren 49,05 ha. CORPOURABA ha clasificado este sitio como Reserva Natural, por lo que no existen registros de extracción de madera. Sin embargo, son evidentes los procesos anteriores de intervención antrópica en algunos fragmentos, como la muerte en pie de un gran número de árboles adultos. También se registra regeneración abundante y homogénea de *R. mangle*, constituyendo el tipo denominado *manglar en estado sucesional temprano*. *Rhizophora mangle* y *L. racemosa* dominan casi la totalidad de los manglares de borde (IVI de 193,7% para *R. mangle* y 70,69% para *L. racemosa*) y ribereño (IVI de 223,8% para *R. mangle* y 48,27% para *L. racemosa*). Cerca al área urbana de Turbo se encuentran fragmentos de manglares de borde (47,4 ha) y de cuenca (97,2 ha), localizados en punta Yarumal y punta las Vacas: los cuales representan el 2,9% de los manglares del Golfo, con claras evidencias de intervención antrópica frecuente. Las distribuciones de diámetros y alturas presentan forma de campana con sesgo hacia las tallas menores, lo cual indica un ecosistema coetáneo en estado sucesional temprano, típico de bosques perturbados. La extracción de madera para carbón representa la mayor amenaza y contribuye a la reducción de algunas áreas, por expansión de la frontera agrícola y ganadera. El manglar de borde se encuentra dominado por *R. mangle* y *A. germinans* (IVI de 129,82% y 120,32% respectivamente),

mientras que el manglar de cuenca se encuentra dominado por *A. germinans* (IVI 119%) seguido por *L. racemosa* y *R. mangle* (IVI de 80,7% y 79,6%, respectivamente); lo cual indica condiciones más salobres y ambientes más perturbados. Los fragmentos de Puerto César-punta Coquito ocupan 8,3% de los manglares del Golfo, y son manglares de borde poco fragmentados pese a la cercanía al centro urbano, que exhiben diámetros y alturas promedio de 5,43 cm y 7,32 m, respectivamente. Este manglar presenta distribución de diámetros y alturas en forma de "J" invertida, lo que indica un buen desarrollo estructural. Estos manglares de borde son muy similares a los de Turbo, domina *R. mangle*, seguido por *A. germinans* y *L. racemosa*, sumando entre todos un IVI de 233%. El manglar de Caimán Nuevo cubre una extensión de 103 ha, y está compuesto por manglar de borde en diferentes estados de desarrollo.

Foraminíferos y sedimentos: En el sector comprendido entre río León y punta Caribaná se presentan foraminíferos en los manglares de bahía Turbo, bahía El Uno y en el río Caimán Viejo. En esta última localidad se encontró la mayor diversidad, presentando 13 especies, siendo las especies dominantes *M. fusca*, *E. bradyi*, *H. canariensis* y *A. mexicana*. En la bahía El Uno, todos los foraminíferos encontrados fueron calcáreos; sin embargo, en este sector, la proporción de aglutinados es mayor del 95% en casi todas las muestras, excepto en la mencionada anteriormente y en el río Caimán Viejo. Se presentaron valores variables de materia orgánica (10%) en los ríos León, Currulao y Mulatos, valores por encima del 40% en bahía Colombia, y en la ensenada de Rionegro se encontraron los mayores porcentajes de materia orgánica (>71%). Los mayores contenidos de carbonatos (>3%) ocurrieron en la boca del río Caimán Viejo, ríos El Carlos y La Cartagenita. Los porcentajes de lodos en la zona mostraron ser variables, pasando por arenas lodosas (%lodos 10-45), lodos arenosos (%lodos 45-90), hasta lodos (%lodos >90).

Fauna y flora asociada a las raíces del mangle rojo (*Rhizophora mangle*) (Anexo 10.1: Mapa EA2010002106): Aunque este sector es relativamente uniforme en términos geomorfológicos, la presencia de la ensenada de Rionegro, las

variaciones de oleaje en dirección norte-sur, y los disturbios antropogénicos parecen determinar un mosaico de la fauna y flora asociada a las raíces de los manglares. La abundancia de moluscos al sur de bahía Turbo es pobre comparada con la del delta del río Atrato, posiblemente debido al disturbio ocasionado por las mareas y marejadas de leva originados por vientos locales. En bahía Turbo se registraron salinidades relativamente altas y, por ende, presenta el caracol *Littorina angulifera* de hábitos predominantemente marinos. Al norte de bahía Turbo, las áreas de manglar restringidas a las bocas de algunos caños están completamente defaunadas, posiblemente por la combinación del disturbio por mar de leva y por la deforestación del manglar. Ahora bien, la ensenada de Rionegro presentó una completa dominancia de *Mytilopsis* spp. (Aunque anecdóticamente se menciona que en otros tiempos era la ostra, al igual que en bahía Marirrío ubicada al sur del delta). Esto puede deberse a las condiciones relativamente estables de la Ensenada, ya que es una laguna costera. Los ríos tributarios al Golfo son de mayor caudal al sur de bahía Turbo (León, Currulao, Guadualito), mientras que al norte son caños (con la excepción de Caimán Nuevo).

Sector 4: Planicie fluvio-marina entre Caribaná y punta Gigantón

Geomorfología (Anexo 10.1: Mapa EA2010002097): Esta área es una zona geológicamente complicada, con zonas bajas ocupadas por pantanos y conjuntos de cordones de playa ubicadas entre las colinas costeras terciarias (Cerro del Águila al sur y el inicio de la terraza en río Iguana al norte), en una zona de bajos localizados mar afuera. Estas colinas corresponden a los relieves meridionales de la llanura costera del Caribe. Alcanzan alturas de 200 m y están constituidas por rocas sedimentarias del terciario, formadas en ambientes marinos y litorales, e incorporadas gradualmente al continente por los esfuerzos tectónicos entre las placas Caribe y suramericana. Tienen una dirección general NE-SW y probablemente coinciden con un eje de levantamiento geológico, al cual se asocian volcanes submarinos de lodo en el mar. Actualmente, el contorno litoral (vista en planta) está regularizado (recto), debido a la intensa erosión dominante,

por lo que las playas actuales tienen amplitudes mínimas con respecto a las reportadas hace 20 años. En esta zona se define bien la planicie fluvio-marina del río Mulatos. En la zona más externa (hacia el mar), la vegetación en parches es indicativa de la formación de dunas litorales colonizadas por vegetación rastrera.

Hidrodinámica: La característica de este sector es muy similar a la identificada para el sector 1. A causa de que las olas que inciden sobre estos sectores están asociadas a periodos de 11 segundos, correspondientes a alturas de olas de 0.8 m con dirección norte (N) para la época seca, y 8 segundos correspondientes a alturas de olas de 0.6 m con dirección norte (N) para la época húmeda, para las condiciones medias de oleaje y viento.

Manglar (Anexo 10.1: Mapa EA2010002102): En este sector se encuentran fragmentos muy pequeños de manglar de borde, con presencia de *R. mangle* y *L. racemosa*, y una alta abundancia de *C. erectus*, *Cocos nucifera* y *Coccoloba uvifera*.

Foraminíferos y sedimentos: No se recolectaron muestras en este sector.

Fauna y flora asociada a las raíces del mangle rojo (*Rhizophora mangle*) (Anexo 10.1: Mapa EA2010002107): En el caño de la Marimonda, detrás de la espiga, se encontró un pequeño parche de manglar defaunado, aunque en él se observaron muchas ostras muertas. Las ostras podrían indicar la predominancia de la cuña salina. En los manglares del río Zapata se presenta la misma condición de la fauna.

Sector 5: Terraza sedimentaria terciaria entre punta Gigantón y punta Rey

Geomorfología (Anexo 10.1: Mapa EA2010002098): Este sector es un ejemplo de franja litoral que evoluciona sobre rocas sedimentarias del terciario (principalmente arcillolitas y lodolitas), con algunas intercalaciones de areniscas. Es también (junto con Damaquiel) un ejemplo de manifestaciones

activas del diapirismo de lodos sobre el propio contorno costero, tanto en tierra como bajo el mar. Se caracteriza por la presencia de una extensa superficie regular (terrazza) con alturas entre 5 m y 10 m por encima del nivel del mar, y ligeramente inclinada hacia el norte. La terraza es cortada al sur por el río Arboletes y por varios drenajes (cárcavas) profundos hacia el norte; tiene varias depresiones menores que corresponden a humedales y a cuerpos artificiales de agua. El borde externo de la terraza corresponde a un frente acantilado labrado sobre rocas muy fracturadas y alteradas químicamente. Este tramo es conocido por las fuertes pérdidas de terrenos litorales en las últimas seis décadas. La erosión acelerada de las playas y de la terraza adyacente ha alcanzado velocidades de hasta 5 m/año: y se inició a partir de la desaparición total, en 1975, de la península de punta Rey, un saliente rocoso de 1.6 km de largo que protegía del impacto directo de las olas a las playas hacia el sur. El retroceso de los acantilados se da tanto por el impacto directo de los oleajes como por la ocurrencia de numerosos movimientos de masa (principalmente desplomes, movimientos rotacionales y flujos de tierra), asociados a las lluvias y a filtraciones de aguas residuales en los sectores poblados. A lo largo del contorno antioqueño del mar Caribe, se han encontrado pequeños parches de manglares en las desembocaduras de los ríos Damaquiel, San Juan, Hobo y Arboletes. Estos parches son restos de extensiones mucho mayores que han ido desapareciendo, a medida que la erosión litoral (y en los casos de Turbo y la desembocadura del río Damaquiel, el relleno artificial) regulariza el contorno costero, y destruye las playas y los planos intermareales adyacentes.

Hidrodinámica: La característica de este sector es similar a la del sector 4. Las olas que inciden sobre los sectores 4 y 5 están asociadas a períodos de 11 segundos, correspondientes a alturas de olas de 0.8 m con dirección norte (N) para la época seca, y 8 segundos correspondientes a alturas de olas de 0.6 m con dirección norte (N) para la época húmeda, para las condiciones medias de oleaje y viento.

Manglar (Anexo 10.1: Mapa EA2010002103): En esta zona se encuentran fragmentos muy pequeños de manglar de borde en las desembocaduras de pequeños caños: ejemplo de estos son los del río Damaquiel (15,8 ha) y el río Hobo (1,4 ha). Estos manglares se encuentran dominados por *R. mangle*, *L. racemosa* y *A. germinans*.

Foraminíferos y sedimentos: Entre punta Gigantón y Arboletes se encontraron abundancias variables. Las especies de mayor ocurrencia en el área resultaron ser *H. canariensis*, *M. fusca*, *A. mexicana* y *E. bradyi*. En el río Damaquiel se presentó la mayor diversidad (22 especies), con una proporción de aglutinados menor al 95%. En el sector se presentaron porcentajes de materia orgánica variables (0-70%), porcentajes de carbonatos <3%, predominando los lodos arenosos (lodos: 45-90%).

Fauna y flora asociada a las raíces del mangle rojo (*Rhizophora mangle*) (Anexo 10.1: Mapa EA2010002108): En los manglares de los ríos Damaquiel, San Juan y Hobo no se encontró fauna asociada a las raíces. Sin embargo, la presencia de *L. angulifera* sobre los troncos varados en la playa, indica la predominancia de condiciones de salinidad marina.

Epílogo

El pasado de una región puede ser estudiado de diversas formas. En realidad, lo que observamos en campo es producto de un pasado reciente, y nuestro compromiso con el presente es poder identificar aquello que la naturaleza nos dice a través de sus signos y síntomas sufridos pretéritamente, para poder traslocarlo a un presente inmediato, el cual a su vez se convierte constantemente en pasado, en cada intento de interpretarlo. Como dijo Santayana, "Quien no conoce su historia, está condenado a repetirla", es un intento de reciclaje del pasado, aplicado al presente; es trabajar con bloques ya construídos; es dar importancia a lo encontrado en el pasado; es optimizar información. Einstein sin Newton no hubiera sido importante ni trascendental.

Este libro es pasado y, a la vez, un bloque construído. El Golfo nos mostró en su momento un presente, un instante, un pictograma de información, del cual pudimos encontrar sus signos y síntomas. Una vez hallados, decidimos interpretar dicha información y hacerla tangente y transversal a la ciencia; una información que fue, desde su momento, exclusiva, puesto que esfuerzos de tal índole no se han repetido, ni mucho menos, pudimos trabajar con bloques consistentes de información anterior; sólo efímeras investigaciones valiosas, pero aisladas. Fue una invitación a la lectura de la naturaleza, en su instante más álgido; instantes que se repiten cada minuto. Sería un error decir que toda esta información ya no es válida por tener más de un lustro de haberla encontrado; más importante aún es pensar que derivados de estos encuentros, comenzaron a generarse un sinnúmero de productos, los cuales no hubieran sido posibles, sin este pasado. Esos productos son a Einstein como este libro es a Newton.

La Gobernación de Antioquia y todas las instituciones partícipes en Expedición Antioquia, ayudaron con aquel encuentro álgido pero instantáneo, a través del

Mario Hernán Londoño Mesa, Dr.C.

Coeditor

**Co-investigador Expedición Estuarina Profesor Asistente
Instituto de Biología, Universidad de Antioquia**

Medellín, 11 de agosto de 2016

apoyo sólo de un año. Nos preguntamos, qué hubiera sido de esta información con un instante menos efímero, más prolongado en recursos. Acostumbrados a trabajar con recursos limitados, pero con una ambición científica, se convirtió aquel año largo en un estilo de vida; un punto focal y epicentro en el Golfo, alrededor del cual se ha gestado la investigación de algunos grupos de investigación que encontraron su reconocimiento y escalada con estos encuentros naturales. Derivadas de esta información, hay investigaciones que se convirtieron en trabajos de grado, trabajos de investigación en maestría y tesis doctorales, así como en presentaciones en eventos nacionales, internacionales y artículos científicos y de divulgación. Incluso, aún continúan gestándose trabajos de diferente índole desde lo neófito hasta lo especialista sobre la base de muestras, datos, fotos, experiencias y observaciones recabadas durante la Expedición. Por ello, ofrecer un epílogo final, un resumen de lo sucedido durante la Expedición y lo consecuente hasta la fecha es un menester casi imposible; tratar de obtener un pictograma es sólo un intento por lo imposible; es tratar de dibujar algo que desdibuja a cada instante, para convertirse en una imagen cada vez más completa del Golfo.

La investigación derivada de algunos capítulos, no más importantes, han progresado hacia el presente, a la vez que han tenido un impacto más trascendental por su misma carencia previa de información. Se pudo establecer un signo, una línea costera de más de 600 km, más larga que la registrada previamente, sólo con unos indicios previos muy tímidos. No hemos podido llegar a imaginar el impacto que ha tenido este encuentro sobre la estimación real de una biodiversidad faunística y florística, un síntoma que continúa incrementando, una vez que este signo se hizo más real.

En el encuentro de las corrientes que tratan de bañar al Golfo, se pudo establecer que en esta esquina sur de nuestro Caribe, sus aguas no poseen un recambio considerable; esto le confiere una particularidad y exclusividad no esperada. Así, nuestra hipótesis inicial, la de un golfo rico en especies marinas fue devastada, encontrando nuevamente que el golfo de Urabá es único, esta vez, por sus particularidades que se debaten entre lo marino y lo fluvial, dándole una constante a veces estuarina, a veces salobre, e incluso salada.

El golfo de Urabá como la esquina más sureña del Mar Caribe no es ajena al palpitar de una región cuyos cielos y aguas se mueven al son de los embates estacionales de los ciclones del Caribe que vienen desde África occidental. Pero el Golfo es al mismo tiempo un mar. Un mar que palpita diariamente, con el fervor de los vientos que vienen del Chocó, del Darién y del Abibe. Un fervor que dicta a qué hora se navega y a qué hora no. Dónde sí y dónde no.

El ímpetu de las olas ha moldeado algunas de las costas del Golfo, rasguñándolas a veces delicadamente, a veces con saña. Ante esto los acantilados, las playas y las rocas permanecen como testigos mudos del pasado y del presente progresivo. Pero este ímpetu del oleaje ha sido domado, al menos en algunos puntos, por un río Atrato arterial y su compañía de pequeños ríos capilares que vierten sus sedimentos como bálsamo a las costas, curando las heridas de la erosión.

En cuanto a sus bosques de manglar, dos ideas lamentablemente opuestas fueron el común denominador. El signo, el desarrollo más grande de este tipo de bosques en el Caribe de Colombia, con unos componentes exclusivos y claves para el entendimiento de procesos ecológicos particulares. El síntoma, un deterioro fitosanitario sin medida por escasez de planes de conservación y manejo eficaces. Un ecosistema único con un deterioro, igualmente único. El por qué aún espera por ser abordado.

No obstante, a pesar de lo único y poco común que pueden ser las características estuarinas que se presentan en el Golfo, encontramos especies que tratan de darnos información tanto sobre su estado de conservación como de sus variables ambientales. Los foraminíferos pueden ser organismos muy pequeños, con una riqueza baja en especies, pero con una enorme acumulación de información, con la cual se pueden establecer planes de conservación. Tal vez en ellos esté la clave para mirar hacia los cambios climáticos del pasado y para monitorear los cambios en curso y futuros. Esta investigación no tiene un pasado. Ella es el pasado y el presente; fue forjada como base para cualquier investigación que se realice sobre estos organismos en el golfo de Urabá.

Por otros flancos, la naturaleza nos engaña, aún cuando la teoría tiene fuertes fundamentos. Siendo el Golfo ecológicamente considerado como un ecotono, un lugar de intercambio de ecosistemas y, por ende, de especies, en la práctica nos mostró lo contrario. Una baja diversidad en moluscos nos hace pensar que algo sucede, un extraño suceso convierte a este gran estuario en un ecosistema particular y único en el Caribe. La fauna y flora marinas del Golfo no parece mucha, pero son nuestras, son singulares. Una idea que se convirtió como un recurrente tanto en el libro como en este intento de resumen instantáneo.

Pero al parecer, no todo es malo. En ausencia de estudios sobre gusanos marinos, hemos podido constatar que presenta sus especies únicas, sus especies comunes, sus especies visitantes. Especies únicas siendo en este momento descritas como nuevas para la ciencia; especies con un común denominador para todo el Caribe, pero importantes ecológicamente si se comparan con sus distribuciones. Finalmente, especies visitantes que se convierten en los “peces león” de nuestro golfo; llegan en la ruta del banano y del plátano, se acomodan, invaden y hacen que se extingan las autóctonas.

En cuanto al componente que podemos llamar “algas”, o plantas del mar, incluye un gran número de grupos taxonómicos, convirtiéndose en el registro más amplio para el Golfo. Esfuerzos anteriores fueron sólo puntuales. Así mismo, estudios similares pueden ser encontrados en nuestra costa Pacífica, pero con los cuales hay enormes diferencias. Es un estudio que invita a pensar en una biodiversidad con un balance positivo, pero que potencialmente puede esconder tal vez el doble de la biodiversidad encontrada. Un estudio que alimenta la idea recurrente de la falsamente estimada diversidad como una megabiodiversidad; en especies algales y sus similares (y en realidad, en todos los grupos taxonómicos), nuestros mares y costas pueden ser considerados mucho más que megadiversos, tal vez, sin ser exagerados, súper-hiper-megadiversos!

Finalmente, la información que pudimos encontrar en estas investigaciones fue útil en el aspecto biogeográfico. Permitió establecer patrones de distribución para nuestro Caribe. Una investigación de esta índole no debe permanecer *in situ*, sino que debe trascender hacia lo que consideramos un pasado enorme en cuanto a información. Es una forma de acoplar un conocimiento adquirido en un pastartú más amplio, al cual le puede adicionar un mayor colorido.

En contexto, no podremos esconder el presente tan variable que tiene el golfo de Urabá y su entorno vecino, que en conjunto hemos denominado Caribe sur, producto de su pasado. Una dinámica dominada, tanto por su arteria principal, el río Atrato, como por su plasma, las aguas del Caribe. El Golfo es un lago enorme, en el cual se puede evidenciar aquello que ya no es un mito, una idea exagerada ni extraña: *la zona costera comienza en la alta montaña*. Para preservar el Golfo, se debe comenzar río arriba. El río Atrato, esta arteria dominada por aguas oscuras, a veces claras, a veces “lechosas”, recoge a su paso de cientos de kilómetros, contaminación producto de la minería y de un uso inadecuado de la tierra...y enferma al Golfo y a todos sus componentes. En un intento por renovar, las aguas del Caribe tratan de entrar, encontrando un repudio hacia un intercambio saludable y renovable de sus aguas. El resultado de esto es un sistema único en nuestro país; una geoforma costera con características estuarino-marinas, de fauna y flora no encontradas en algún otro rincón de Colombia. Ya no me preocupa hacer un recuento bibliográfico de lo que hemos aprendido desde 2010. Mi colega coeditor sintentizó el camino avanzado hasta 2013 en las “Crónicas de la Expedición”. Con seguridad hemos avanzado mucho más y un lector ávido de conocimiento pronto lo constatará. Pero me surge más bien una pregunta como justificación para el estudio de este escenario, con un tras bambalinas por descubrir: ¿por qué no seguir estudiando al golfo de Urabá, a su zona aledaña y a todo el Caribe sur?

Inserto fotográfico

PLANCHA 1. EJEMPLOS DE PLUMA TURBIA (DESCARGA DE AGUA DULCE Y SEDIMENTOS DE LOS RÍOS AL MAR)

Vista aérea de boca El Roto, por donde el río Atrato vierte el mayor caudal al golfo de Urabá. Las aguas turbias corresponden al aporte fluvial, y las más claras son aguas costeras confinadas dentro de pequeñas bahías, y que no se mezclan con las primeras.



Foto: Juan F. Blanco

A la derecha, aguas del río Atrato vertidas por la boca El Roto. A la izquierda las aguas del golfo de Urabá



Foto: Juan F. Blanco

A la izquierda aguas del río Atrato vertidas por la boca Tarena, la cual se encuentra colmatada, al mar del Darién chocoano. Nótese que esta pluma no es tan turbia como la de la boca El Roto



Foto: Juan F. Blanco

Al fondo, aguas turbias del río Mulatos (el de mayor longitud y caudal del Caribe antioqueño) vertidas al mar.



Foto: Juan F. Blanco

PLANCHA 2. MOSAICO GEOLÓGICO DE LAS REGIONES DARIÉN CHOCOANO, CARIBE ANTIOQUEÑO Y GOLFO DE URABÁ

Islote de rocas basálticas e intrusivas (volcánicas) en el Darién chocoano



Foto: Juan F. Blanco

Plataformas costeras de rocas calcáreas (karso) (bahía El Aguacate, Capurganá)



Foto: Juan F. Blanco

Acantilado de rocas sedimentarias en el Caribe antioqueño



Foto: Juan F. Blanco

Playa arenosa (Playa Ceverá) formada por sedimentos terrígenos no consolidados, y aportados por el río Atrato (boca Tarena)



Foto: Juan F. Blanco

PLANCHA 3. PAISAJE COSTERO DEL DARIÉN CHOCOANO

Colinas (relieve) costeras al sur de Capurganá



Foto: Juan F. Blanco

Planicie costera estrecha en la bahía de Titumate (nótese que existen pequeños parches de manglar en las zonas protegidas, y la desembocadura de un pequeño río)



Foto: Juan F. Blanco

PLANCHA 4. PAISAJE COSTERO DEL CARIBE ANTIOQUEÑO

Costa de acantilados y plataforma fluvio-marina



Foto: Aeroestudios

Ensenada de Rionegro (nótese que está ubicada en la punta de una planicie fluvio-marina). Geomorfológicamente se considera una ciénaga e hidrológicamente una laguna costera



Foto: Aeroestudios

PLANCHA 5. PAISAJE COSTERO DEL INTERIOR DEL GOLFO DE URABÁ

Brazo Coquito, delta del río Atrato. Al fondo se observa el delta del río Turbo. En las zonas intermareales se establecen los árboles de mangles que forman los bosques de manglar



Foto: Juan F. Blanco

Sector Los Hoyitos, bahía de Marirrío al sur del delta del río Atrato. Nótese la franja de manglar e islotes. Se observa el brazo Leoncito del río Atrato



Foto: Juan F. Blanco

PLANCHA 6. DINÁMICA DEL OLEAJE EN EL MAR CARIBE Y EN EL GOLFO DE URABÁ

Oleaje de tormenta (SWELL) en bahía El Aguacate, Darién chocoano. Fenómeno asociado a la variación estacional de los vientos alisios del norte, conocido como "mar de leva"



Foto: Juan F. Blanco

Oleaje generado por viento local (SEA) en bahía Colombia, en el interior del golfo de Urabá. Fenómeno con ciclos diarios de variación, conocido como "*mareta*"



Foto: Juan F. Blanco

La áreas protegidas como la ensenada de Rionegro (foto), las bahías de Marirrío, El Uno y Turbo, presentan aguas más calmadas y protegidas de la acción del viento y del oleaje



Foto: Juan F. Blanco

PLANCHA 7. TIPOS DE MANGLES Y MANGLARES DEL GOLFO DE URABÁ

Mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en un bosque (manglar) de franja en el delta del río Atrato



Foto: Juan F. Blanco

Mangle negro (*Avicennia germinans*) en un bosque de cuenca en la desembocadura del río León. Este tipo de bosque está restringido a la costa oriental del Golfo, y a pequeñas áreas del Caribe antioqueño.



Foto: Juan F. Blanco

Mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en un bosque de franja sobre sedimentos poco consolidados en la bahía de Marirrío. Nótese las ramificaciones de las raíces y la disposición de los troncos para establecerse en substrato poco estable.



Foto: Juan F. Blanco

Islote de manglar (*Rhizophora mangle*). Este tipo fisiográfico es común en sitios protegidos del oleaje, como la bahía Marirrío (foto) y la ensenada de Rionegro



Foto: Juan F. Blanco

PLANCHA 8. FORMACIONES VEGETALES ASOCIADAS AL MANGLAR

Invasión del helecho matatigre (*Acrostichum aureum*) en un manglar talado en Punta Coquito



Foto: Juan F. Blanco

Panganal en el río Suriquí. Asociación dominada por la palma pangana (*Raphia taedigera*), típica de los brazos del río Atrato, donde predomina la inundación de agua dulce



Foto: Juan F. Blanco

Arracachal (formación dominada por el arracacho: *Montrichardia arborescens*), cerca a corregimiento Bocas del Atrato



Foto: Juan F. Blanco

PLANCHA 9. EL MANGLE PIÑUELO, UN MANGLE ATÍPICO EN EL CARIBE COLOMBIANO

En el golfo de Urabá podrían encontrarse las poblaciones más grandes del mangle piñuelo (*Pelliciera rhizophorae*) de todo el Caribe colombiano. Se encuentra en varias áreas de bahía Colombia y en el delta del río Atrato.



Foto: Edgar Andrés Estrada

Plántula del mangle piñuelo



Foto: Edgar Andrés Estrada

PLANCHA 10. INDICADORES DEL ESTADO FITOSANITARIO EN LOS MANGLES

Raíz de mangle rojo invadida por un molusco bivalvo perforador, de la familia *Teredinidae*



Foto: Juan F. Blanco

Agallas (formaciones tumorosas) en el tronco de un mangle rojo en el delta del río Atrato. Se desconoce si su origen es un hongo, una bacteria o un virus.

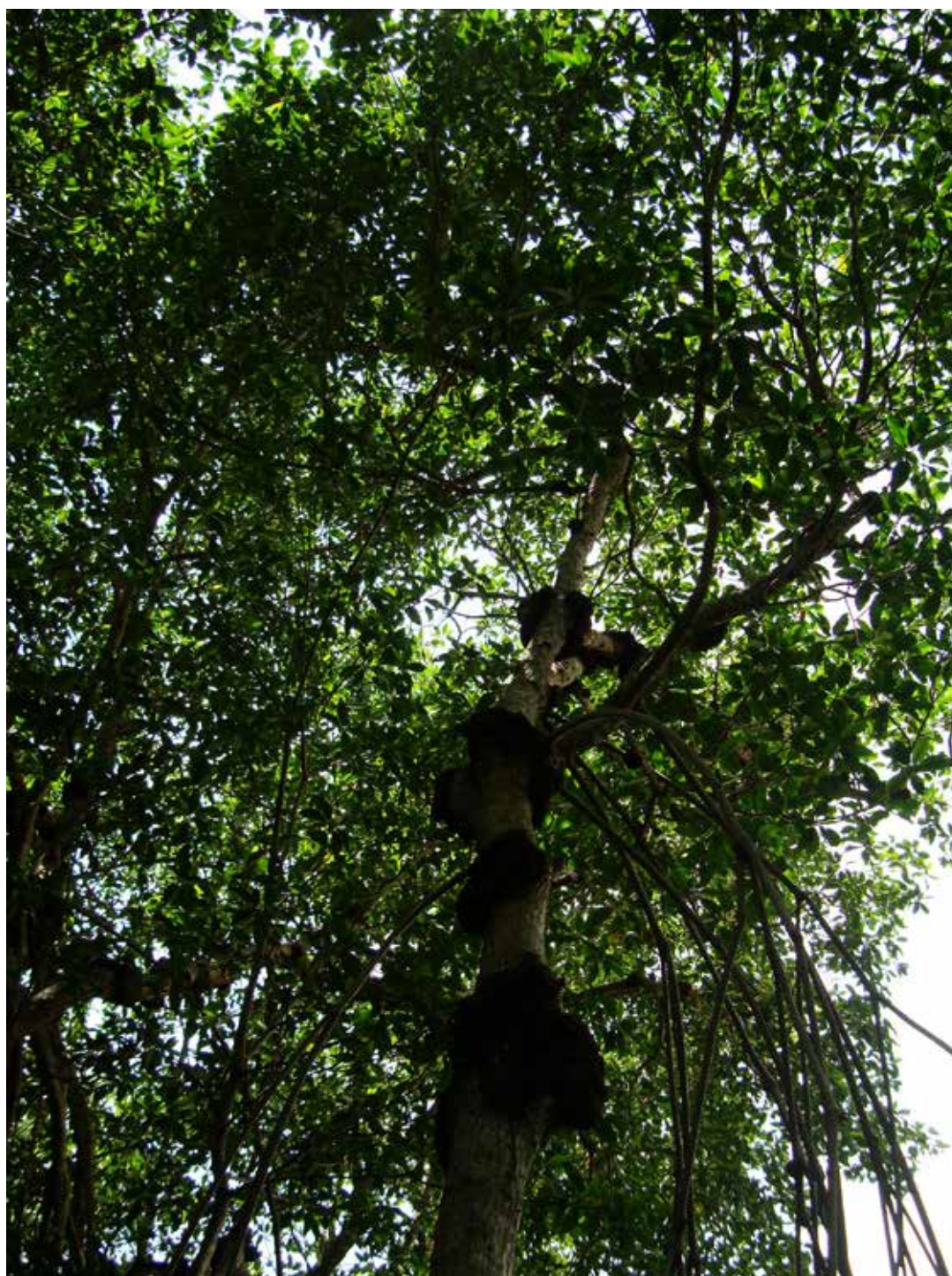


Foto: Juan F. Blanco

PLANCHA 11. FAUNA ASOCIADA A LAS RAÍCES DE LOS MANGLES

Las raíces aéreas del mangle rojo pueden ser colonizadas por una gran variedad de moluscos (como las ostras del manglar *Crassostrea rhizophorae*, en la foto), gusanos marinos (poliquetos) y algas. Desembocadura del río Zapata, Caribe antioqueño



Foto: Juan F. Blanco

Neritina virginea (gasterópodo) es el caracol más abundante en las raíces aéreas del mangle rojo, así como en el sustrato fangoarenoso del manglar, en el golfo de Urabá.



Foto: Juan F. Blanco

PLANCHA 12. IMPACTOS DE LA TALA SOBRE EL MANGLAR

Mangle rojo talado para extraer "varas", para fabricar carbón vegetal



Foto: Edgar Andrés Estrada

Las áreas donde el mangle rojo es talado son invadidas por el helecho *Acrostichum aureum* o por el mangle blanco o bobo (*Laguncularia racemosa*). Un signo de la ocurrencia de tala en el pasado es la presencia de muchos árboles delgados (jóvenes). Bahía Titumate, Caribe chocoano.



Foto: Juan F. Blanco

Grandes extensiones de manglar dominado por *Avicennia germinans* han sido taladas ("reclamadas"), para establecer potreros en las planicies de inundación de río León (foto), río Guadualito y río Turbo (bahía El Uno). El manglar de este tipo más conservado y más extenso se encuentra en el Resguardo Indígena de Caimán Nuevo



Foto: Juan F. Blanco

PLANCHA 13. AMENAZAS NATURALES SOBRE LOS MANGLARES

Los "mares de leva" y las "maretas" erosionan los manglares de todo el golfo, especialmente los del costado oriental (foto: Punta Coquito). Se espera que esta amenaza aumente con el incremento progresivo del nivel del mar



Foto: Juan F. Blanco

En la parte norte de la costa oriental del Golfo (entre Caimán Nuevo y Necoclí; foto: quebrada Cartagenita), y en toda la costa Caribe antioqueña, es evidente que algunos manglares han desaparecido debido a la erosión costera. En estas áreas se encuentran algunos relictos en las desembocaduras de los ríos y caños



Foto: Juan F. Blanco

PLANCHAS 14. LOS MANGLARES SON “BIO-ESCUDOS”, CONTRA LAS AMENAZAS NATURALES, SOBRE LOS HABITANTES DEL LITORAL

Los manglares han desaparecido. ¿Por qué seguir ahí?



Foto: Iván D. Correa

“Los manglares protegen a la gente que protege a los manglares”

Sergio Mattos-Fonseca

El Waffe 1938



El Waffe 2009



