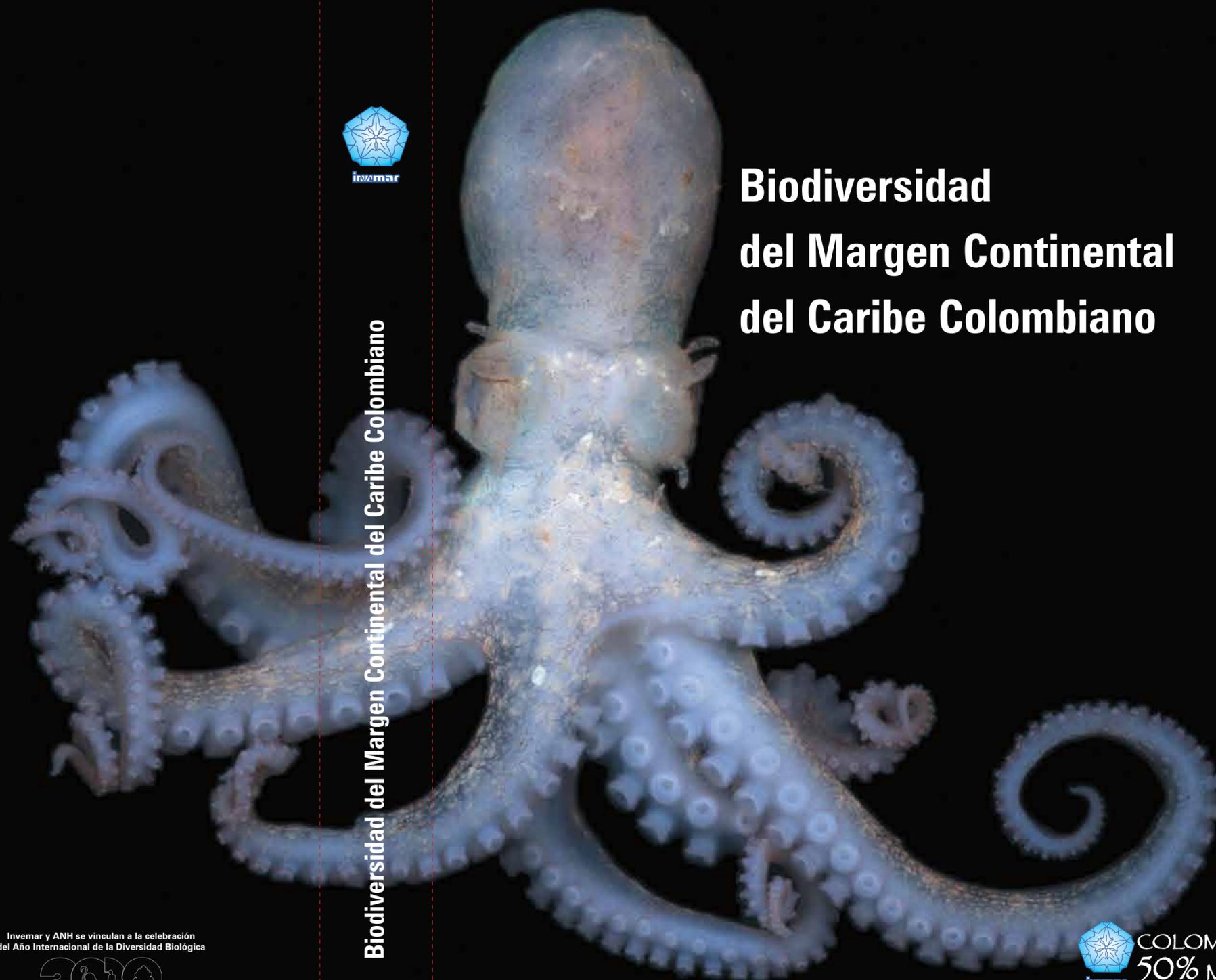




invemar

Biodiversidad del Margen Continental del Caribe Colombiano

# Biodiversidad del Margen Continental del Caribe Colombiano



Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras  
"José Benito Vives De Andrés" INVEMAR  
Vinculado al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial



Invemar y ANH se vinculan a la celebración  
del Año Internacional de la Diversidad Biológica



Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras  
"José Benito Vives De Andrés" INVEMAR  
Vinculado al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

# Biodiversidad del Margen Continental del Caribe Colombiano



**Figuras, fotografías y edición de imágenes:**

Adriana Bermúdez  
Andrea Polanco  
Ángela Cecilia López  
Arturo Acero  
Carlos Torres  
Carolina Segura-Quintero  
Daniel M. Rozo-Garzón  
David Alonso Carvajal  
Erika Montoya-Cadavid  
Gabriel R. Navas S.  
Giomar Helena Borrero-Pérez  
Javier Idarraga-García  
Jiner A. Bolaños  
Johanna Medellín-Mora  
José Luis Espriella  
Julio Bohórquez  
Luis A. Vidal  
María Adriana Gracia Clavijo  
Marta Patricia Vides Casado  
Martha Cecilia Díaz-Ruiz  
Milena Benavides Serrato  
Nadiezha Santodomingo  
Natalia Rodríguez Salcedo  
Nelson Rangel-Buitrago  
Néstor E. Ardila Espitia  
Néstor Hernando Campos  
Oscar Martínez-Ramírez  
Paola Flórez  
Yesid Lozano-Duque

**Edición general:**

Gabriel R. Navas S.  
Carolina Segura-Quintero C.  
Manuel Garrido-Linares  
Milena Benavides-Serrato  
David A. Alonso Carvajal

**Mapas:**

Laboratorio de Sistemas de Información LabSIS-Invemar

**Cítese como:**

**Citación General:**

INVEMAR (eds.). 2010. Biodiversidad del margen continental del Caribe colombiano. Serie de Publicaciones Especiales, Invemar No. 20 p. 458

**Citación por capítulos:**

“Autores”. 2010. Título del capítulo. Pp (intervalo de páginas).En INVEMAR (Eds.). 2010. Biodiversidad del margen continental del Caribe colombiano. Serie de Publicaciones Especiales, Invemar No. 20 p. 4588

ISBN: Obra independiente 978-958-8448-29-9

**Diseño y Diagramación:**

Franklin Restrepo Marin

**Impresión:**

Marquillas S.A.

**Palabras clave:**

Biodiversidad, Taxonomía, Caribe, Ecología, Colombia, Sistemas de Información.

**Diseño Portada:**

Paola Flórez y María Adriana Gracia Clavijo

**Fotografía portada:**

María Adriana Gracia Clavijo

Derechos reservados conforme a la ley. Los textos pueden ser reproducidos, total o parcialmente, citando la fuente.

© 2010 Instituto de investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives De Andrés” (Invemar), Santa Marta, Colombia. Vinculado al Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, desde 1993 (Ley 99).



**Francisco A. Arias Isaza**

Director General

**Jesús Antonio Garay Tinoco**

Subdirector Coordinación de Investigaciones (SCI)

**Carlos Augusto Pinilla Gonzáles**

Subdirector de Recursos y Apoyo a la Investigación (SRAI)

**David Alejandro Alonso Carvajal**

Coordinador Programa de Biodiversidad  
y Ecosistemas Marinos (BEM)

**Mario Enrique Rueda Hernández**

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

**Luisa Fernanda Espinosa Díaz**

Coordinadora Programa de Calidad Ambiental Marina (CAM)

**Georgina Guzmán Ospitia**

Coordinadora Programa de Geociencias Marinas (GEO)

**Paula Cristina Sierra Correa**

Coordinadora Programa de Investigación  
para la Gestión de Zonas Costeras (GEZ)

**Oscar David Solano Plazas**

Coordinador Programa de Servicios Científicos (CSC)



**MINISTRO DE MINAS Y ENERGÍA**

Hernán Martínez Torres (Saliente)

Carlos Rodado Noriega (Entrante)

**AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS - ANH -**

Decreto Ley 1760 de 2003

**DIRECTOR AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS**

José Armando Zamora Reyes

**SUBDIRECTOR ADMINISTRATIVO Y FINANCIERO**

Claudia Lafaurie Taboada

**COMUNIDADES, MEDIO AMBIENTE Y VIABILIDAD  
DE LAS OPERACIONES**

Coordinadora de Grupo, Adriana Ospina Zapata (Saliente)

Boris Navarro

# PRESENTACIÓN

Con una acelerada proyección de crecimiento en la producción actual de recursos energéticos que contempla la exploración y explotación de gas e hidrocarburos sobre áreas de concesión en el margen continental colombiano, se hace indispensable la identificación de áreas marinas sensibles o vulnerables a ésta actividad. Ante esta perspectiva, la Agencia Nacional de Hidrocarburos – ANH -, autoridad en la administración de las áreas de los recursos hidrocarburíferos de Colombia en asocio con el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis” - Invemar, entidad responsable de brindar asesoría técnica a la nación en los temas de conservación de los recursos renovables de nuestros mares, se han dado a la tarea de caracterizar los ambientes profundos del margen continental del Caribe colombiano, haciendo un especial énfasis en aquellas áreas sujetas a exploración de hidrocarburos mar afuera.

La presente publicación, incluye valiosa información producto de varios años de investigación marina de las aguas profundas, la plataforma continental y el talud superior del Caribe colombiano, llevada a cabo por un grupo multidisciplinario de investigadores en áreas de taxonomía, geología, ecología, cartografía y conservación del Invemar. Dentro de los resultados más destacados se encuentra el haber colectado e identificado más de 1600 especies, de las cuales alrededor del 35% se constituyeron en primeros registros para nuestras aguas y hasta el momento 21 especies nuevas descritas para la ciencia. Igualmente, a través de las investigaciones, se han detectado en diferentes sectores del Caribe colombiano, la presencia de hábitats de gran importancia ecológica, de los cuales no se sabía su existencia, tales como arrecifes de profundidad y comunidades biológicas reductoras, que han demostrado albergar altos niveles de diversidad biológica. Estos hallazgos nos han situado como país líder en el área en estudios de aguas profundas, con la formación de personal especializado, desarrollo de capacidades tecnológicas y ha constituido importantes adelantos para el conocimiento y la ciencia marina a nivel local, regional y mundial.

Los primera parte del libro que presentamos incluye una descripción detallada de la geomorfología, climatología y oceanografía del Mar Caribe colombiano, ampliando la información correspondiente a procesos naturales marinos y atmosféricos, que son fundamentales para el establecimiento de las comunidades biológicas. Posteriormente se presentan los componentes bióticos, empezando por el componente planctónico (fitoplancton y zooplancton), cuya caracterización es un elemento esencial para la elaboración de la línea base biológica ante las actividades de exploración de hidrocarburos en aguas oceánicas; se registraron preliminarmente, 98 especies pertenecientes al fitoplancton y con esto se da el punto de partida para la descripción de un mayor número de especies de zooplancton. Seguidamente se describe la macro y megafauna asociada al margen continental y talud del Caribe colombiano, representada en cnidarios, moluscos, equinodermos, briozoos, crustáceos y peces, principales componentes de los fondos blandos de nuestros mares profundos. Así mismo, el análisis integrado de la información permitió identificar áreas significativas para la biodiversidad en las cuales se presentan algunos valores biológicos o sustitutos de biodiversidad importantes que deben ser tenidos en cuenta en futuros procesos de intervención. Por último, se plantea a través de ejemplos, algunas soluciones aplicadas a las tecnologías de información, los cuales ofrecen modelos para la organización y análisis de datos con el desarrollo e implementación de sistemas de información, bases de datos y herramientas de búsqueda, permitiendo el fácil acceso y la publicación masiva de información sobre biodiversidad marina en el país.

Aunque todavía se hace necesario profundizar en diversos aspectos de la biodiversidad de los márgenes continentales colombianos, en especial el del Océano Pacífico y llegar a explorar nuevas profundidades, este libro es una herramienta valiosa de consulta para investigadores y tomadores de decisiones. La información contenida en él es la línea base de conocimiento que permitirá afrontar nuevos retos en materia de armonizar las necesidades de uso de nuestros recursos naturales en función de los criterios de conservación de la biodiversidad marina, otra de las riquezas estratégicas de la nación.

**JOSÉ ARMANDO ZAMORA REYES**

Director General ANH

**FRANCISCO A. ARIAS ISAZA**

Director General Invemar

## AGRADECIMIENTOS

Esta publicación es producto de varios años de investigación en los cuales estuvieron involucrados directa e indirectamente muchos investigadores, estudiantes, pasantes e instituciones, bien como participantes en los resultados o como colaboradores desinteresados, a todos ellos queremos expresarles nuestros sinceros agradecimientos.

Especialmente al apoyo financiero de la Agencia Nacional de Hidrocarburos –ANH, al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (COLCIENCIAS) y al el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis” Invemar.

Los autores quieren expresar su agradecimiento al Director General de Invemar, Francisco A. Arias Isaza por su apoyo constante, al Subdirector de Recursos y Apoyo a la Investigación Carlos Pinilla y todo su equipo de trabajo, y al Subdirector de Coordinación de Investigaciones Jesús A. Garay Tinoco. De igual manera, al capitán José A. Polo y toda la tripulación del barco B/I Ancón, donde se llevaron a cabo las diferentes campañas de investigación en estos últimos 12 años.

Así mismo, al Director de la ANH Dr. José Armando Zamora Reyes, al Subdirector Administrativo y Financiero Claudia Lafaurie Taboaday y al grupo de trabajo de Comunidades, Medio Ambiente y Viabilidad de las Operaciones, en especial a Adriana Ospina y Boris Navarro.



*Ophiomyxa tumida*. Fotografía: Milena Benavides Serrato.

# CONTENIDO

<b>PRESENTACIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>15</b>
<b>MUESTREO DE MEGAFUNA</b> .....	<b>17</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>18</b>
<b>GEOLOGÍA GENERAL, MORFOLOGÍA SUBMARINA Y FACIES SEDIMENTARIAS EN EL MARGEN CONTINENTAL Y LOS FONDOS OCEÁNICOS DEL MAR CARIBE COLOMBIANO</b> .....	<b>29</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>30</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>30</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>31</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>31</b>
<b>CONTEXTO GEOLÓGICO</b> .....	<b>32</b>
Configuración geotectónica del Caribe colombiano .....	32
División estructural del Caribe colombiano .....	32
<b>GEOMORFOLOGÍA Y FACIES SEDIMENTARIAS</b> .....	<b>34</b>
<b>LA GUAJIRA</b> .....	35
Características geomorfológicas.....	35
Facies sedimentarias.....	36
<b>TAYRONA</b> .....	38
Características geomorfológicas.....	38
Facies sedimentarias.....	40
<b>DELTA DEL MAGDALENA</b> .....	40
Características geomorfológicas.....	40
Facies sedimentarias.....	41
<b>SINÚ</b> .....	43
Características geomorfológicas.....	43
Facies sedimentarias.....	45
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>48</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>50</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>50</b>
<b>CONTEXTO CLIMATOLÓGICO Y OCEANOGRÁFICO DEL MAR CARIBE COLOMBIANO</b> .....	<b>53</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>54</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>54</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>54</b>

Protoconcha del gastrópodo túrrido del género *Drilliola*, fotografía: María Adriana Gracia Clavijo.

<b>CLIMATOLOGÍA</b> .....	<b>54</b>
Vientos Alisios .....	55
Zona de convergencia intertropical (ZCIT) .....	56
Precipitación .....	56
Monzones .....	56
Corrientes de vientos atmosféricos de bajo nivel .....	57
El Niño Oscilación del Sur (ENOS).....	57
Procesos que determinan el estado del tiempo en el mar Caribe colombiano .....	58
Interacción océano-atmósfera en el mar Caribe colombiano .....	59
<b>OCEANOGRAFÍA</b> .....	<b>61</b>
Corrientes en el mar Caribe .....	62
Corrientes en el mar Caribe colombiano.....	63
Masas de agua en el mar Caribe.....	64
Masas de agua en el mar Caribe colombiano .....	66
<b>CARACTERIZACIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS EN EL MAR CARIBE COLOMBIANO</b> .....	<b>67</b>
Temperatura.....	68
Salinidad .....	71
Oxígeno disuelto (mg.l <sup>-1</sup> ).....	72
La densidad (sigma-T) del agua de mar .....	75
Análisis de la relación T-S y las masas de agua .....	76
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>80</b>
<b>PERSPECTIVAS</b> .....	<b>81</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>81</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>81</b>

<b>LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA EN EL MAR CARIBE COLOMBIANO</b> .....	<b>87</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>88</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>88</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>88</b>
<b>MÉTODOS</b> .....	<b>91</b>
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>93</b>
<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>96</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>102</b>
<b>PERSPECTIVAS Y VACÍOS</b> .....	<b>103</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>103</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>104</b>

<b>DISTRIBUCIÓN DEL MESOZOOPLANCTON EN AGUAS OCEÁNICAS DEL MAR CARIBE COLOMBIANO DURANTE MAYO Y JUNIO DE 2008</b> .....	<b>121</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>122</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>122</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>122</b>
<b>MÉTODOS</b> .....	<b>123</b>
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>125</b>
Composición .....	125
Distribución espacial .....	127
Holoplancton .....	128
Meroplancton.....	130
Biomasa (mg m <sup>-3</sup> ).....	133
<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>136</b>

Composición y distribución espacial .....	136
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>139</b>
<b>PERSPECTIVAS</b> .....	<b>139</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>140</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>140</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>144</b>

<b>CNIDARIA: CORALES ESCLERACTINIOS, ANTIPATARIOS, ANÉMONAS, ZOANTÍDEOS, OCTOCORALES E HIDROIDES</b> .....	<b>151</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>152</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>152</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>152</b>
<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>154</b>
<b>DEFINICIÓN DEL GRUPO</b> .....	<b>155</b>
<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS</b> .....	<b>157</b>
<b>PERSPECTIVAS Y VACÍOS</b> .....	<b>168</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>169</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>169</b>
<b>ANEXO</b> .....	<b>173</b>
Listado de Especies .....	173

<b>MOLUSCOS DE LA PLATAFORMA Y TALUD SUPERIOR DEL CARIBE COLOMBIANO (20-940 m): 12 AÑOS DE INVESTIGACIÓN RESULTADOS Y PERSPECTIVAS</b> .....	<b>181</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>182</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>182</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>183</b>
Definición del grupo .....	183
Antecedentes generales en Colombia.....	184
<b>MÉTODOS</b> .....	<b>185</b>
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>187</b>
Primeros registros .....	189
Nuevas especies.....	192
Agrupamientos por profundidad.....	194
<b>COMENTARIOS GENERALES</b> .....	<b>197</b>
Bivalvia.....	197
Gastropoda.....	199
Cephalopoda .....	200
Scaphopoda .....	201
Polyplacophora .....	202
Fauna asociada a otros substratos o ambientes.....	203
Vacíos y perspectivas .....	204
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>205</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>205</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>209</b>

<b>CRUSTÁCEOS DECÁPODOS DEL CARIBE COLOMBIANO</b> .....	<b>229</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>230</b>

<b>ABSTRACT</b> .....	<b>230</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>230</b>
<b>SUBORDEN DENDROBRANCHIATA</b> .....	<b>233</b>
<b>INFRAORDEN STENOPODIDEA</b> .....	<b>234</b>
<b>INFRAORDEN CARIDEA</b> .....	<b>235</b>
<b>INFRAORDEN ASTACIDEA</b> .....	<b>236</b>
<b>INFRAORDEN PALINURA</b> .....	<b>237</b>
<b>INFRAORDEN THALASSINIDEA</b> .....	<b>237</b>
<b>INFRAORDEN ANOMURA</b> .....	<b>237</b>
<b>INFRAORDEN BRACHYURA</b> .....	<b>238</b>
<b>IMPORTANCIA DE LOS DECÁPODOS EN EL CARIBE COLOMBIANO Y PERSPECTIVAS DE SU APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE</b> .....	<b>241</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>241</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>242</b>
<b>ANEXO</b> .....	<b>246</b>

**EQUINODERMOS DE LA PLATAFORMA Y LA FRANJA SUPERIOR DEL TALUD CONTINENTAL DEL CARIBE COLOMBIANO** ..... **255**

<b>RESUMEN</b> .....	<b>256</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>256</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>256</b>
Definición del grupo .....	256
Equinodermos a nivel global .....	258
Información de los equinodermos en el Atlántico y Caribe .....	259
Información de los equinodermos en el Caribe colombiano .....	260
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>261</b>
Composición faunística.....	261
<b>ANÁLISIS DE CLASIFICACIÓN Y ORDENACIÓN</b> .....	<b>264</b>
Patrón de asociación de estaciones y especies características .....	264
Conglomerado PCS20-70.....	264
Conglomerado PCP150 .....	264
Conglomerado TCS300.....	266
Conglomerado TCP500-940 .....	266
<b>DISTRIBUCIÓN BATIMÉTRICA DE LAS FAMILIAS ENTRE LOS CONGLOMERADOS DEFINIDOS DENTRO DEL ANÁLISIS INVERSO MODIFICADO DE KAANDORP</b> .....	<b>267</b>
<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>274</b>
Composición faunística.....	274
Análisis de ordenación y clasificación .....	275
<b>CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS</b> .....	<b>277</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>277</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>277</b>

**BRIOZOOS: UNA APROXIMACIÓN A SU CONOCIMIENTO EN LOS FONDOS DEL CARIBE COLOMBIANO (20-800 m)**..... **283**

<b>RESUMEN</b> .....	<b>284</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>284</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>284</b>

<b>DEFINICIÓN DEL GRUPO</b> .....	<b>286</b>
<b>IMPORTANCIA</b> .....	<b>290</b>
<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>291</b>
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>292</b>
<b>PRIMEROS REGISTROS</b> .....	<b>293</b>
<b>COMPOSICIÓN Y RIQUEZA</b> .....	<b>293</b>
<b>DISTRIBUCIÓN</b> .....	<b>298</b>
<b>SUSTRATOS</b> .....	<b>302</b>
<b>ALCANCES, VACÍOS DE INFORMACIÓN Y PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>303</b>
<b>CONCLUSIÓN</b> .....	<b>304</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>305</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>305</b>
<b>ANEXO</b> .....	<b>309</b>

**APORTES A LA BIODIVERSIDAD ÍCTICA DEL CARIBE COLOMBIANO**..... **317**

<b>RESUMEN</b> .....	<b>318</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>318</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>318</b>
<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>320</b>
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>321</b>
<b>PERSPECTIVAS Y VACÍOS</b> .....	<b>339</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>339</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>339</b>
<b>ANEXO</b> .....	<b>342</b>

**ENSAMBLAJES FAUNÍSTICOS DE LA PLATAFORMA Y TALUD SUPERIOR DEL MAR CARIBE COLOMBIANO** ..... **355**

<b>RESUMEN</b> .....	<b>356</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>356</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>356</b>
<b>MÉTODOS</b> .....	<b>357</b>
Niveles de organización biogeográfica.....	357
Estimación de la riqueza de especies, abundancia y diversidad .....	359
Riqueza de especies por formas del fondo marino .....	361
Caracterización de ensamblajes .....	362
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>364</b>
Ocurrencia de especies .....	364
Riqueza, abundancia y diversidad.....	365
Caracterización de las formas del fondo.....	367
Ensamblajes.....	371
Grupo 2 (estaciones de 60 a 90 m) .....	374
Grupo 3 (estaciones de 140 a 160 m).....	376
Grupo 4 (estaciones de 200 y 330 m) .....	378
Grupo 5 (estaciones de 370 y 550 m).....	380
Grupo 6 (estaciones de 700 a 920 m) .....	381
<b>CONSIDERACIONES FINALES</b> .....	<b>383</b>

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>383</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>383</b>

<b>ÁREAS SIGNIFICATIVAS PARA LA BIODIVERSIDAD</b> .....	<b>393</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>394</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>394</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>394</b>
<b>MÉTODOS</b> .....	<b>396</b>
<b>SELECCIÓN DE OBJETOS</b> .....	<b>396</b>
<b>DE CONSERVACIÓN</b> .....	<b>396</b>
<b>DEFINICIÓN DE METAS</b> .....	<b>397</b>
<b>DEFINICIÓN DE PORTAFOLIO</b> .....	<b>399</b>
<b>DE ÁREAS SIGNIFICATIVAS PARA LA BIODIVERSIDAD</b> .....	<b>399</b>
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>400</b>
Selección de objetos de conservación.....	400
Definición de metas.....	400
<b>PORTAFOLIO DE ÁREAS SIGNIFICATIVAS PARA LA BIODIVERSIDAD</b> .....	<b>404</b>
<b>ANÁLISIS</b> .....	<b>405</b>
<b>CONCLUSIONES, VACÍOS</b> .....	<b>414</b>
<b>Y PERSPECTIVAS</b> .....	<b>414</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>415</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>415</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>419</b>

<b>SISTEMAS DE INFORMACIÓN: HERRAMIENTAS DE SOPORTE</b>	
<b>AL CONOCIMIENTO DE LA DIVERSIDAD MARINA DEL MARGEN CONTINENTAL</b> .....	<b>425</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>426</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>426</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>426</b>
<b>HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS DE DATOS BIOLÓGICOS</b> .....	<b>428</b>
Bases de datos y sistemas de información .....	429
Sistemas de información geográfica.....	431
<b>SERVICIOS DE INFORMACIÓN SOBRE BIODIVERSIDAD MARINA DE COLOMBIA</b> .....	<b>447</b>
Sistema de Información de Biodiversidad .....	449
Marina –SIBM .....	449
Biodiversidad marina en los bloques de exploración de hidrocarburos .....	450
<b>PERSPECTIVAS FUTURAS</b> .....	<b>453</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>454</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>455</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>455</b>

# INTRODUCCIÓN

Históricamente la mayoría de investigaciones marinas a nivel global se han centrado en ecosistemas someros, sin embargo, en los últimos años la exploración de los mares profundos ha cobrado gran interés por parte no sólo de la comunidad científica debido al desconocimiento de la biota que allí habita, sino también por diferentes sectores productivos, tales como el sector pesquero, minero, hidrocarburo, comunicaciones (tendido de cables submarinos) y farmacéutico, quienes se han percatado del gran potencial de los recursos existentes. Una de las regiones con mayor interés en la actualidad lo constituye el margen continental, el cual comprende la zona de transición desde el continente hasta las llanuras abisales adyacentes, incluyendo la plataforma, el talud, las elevaciones continentales, e incluso el margen insular (OHI 2001). Esta porción del lecho marino está caracterizada por multiplicidad de procesos geológicos que favorecen el asentamiento de diferentes comunidades conformadas principalmente por corales, bivalvos, briozoos, esponjas y gusanos de mar (vestmentífera), los cuales a su vez, generan el incremento relativo de la riqueza de especies respecto a los fondos adyacentes, en contraposición a la creencia extendida que los lechos marinos representan uno de los sistemas más estables y menos productivos del planeta (Mortensen *et al.* 1995, Koslow 1997, Koslow *et al.* 2000, Korn *et al.* 2003).

Las áreas marinas de Colombia, que representan casi el 50% del territorio nacional, son una fuente incalculable de recursos que presumiblemente han de constituirse en pilares básicos para el progreso del país. Se considera, además, que Colombia es uno de los cinco países con mayor diversidad marina en el mundo. Por ello, desde 1995 el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “Jose Benito Vives de Andreis” - Invemar ha venido

adelantando diferentes proyectos de investigación en aguas profundas que incluyen expediciones en la plataforma continental y el talud superior del Caribe y el Pacífico colombianos (CIOH-Invemar-Smithsonian, Macrofauna I, II y III, Marcoral, Corpoguajira, ANH I y ANH II) con el fin de caracterizar la fauna presente principalmente en los fondos blandos entre los 20 y 1000 m de profundidad.

Como resultado de ello, se han recolectado e identificado más de 1600 especies, de las cuales alrededor del 35% se constituyeron en nuevos registros para nuestras aguas y hasta el momento 21 nuevas especies descritas para la ciencia (ver: Lattig y Cairns 2000, Lemaitre y Bermúdez 2000, Ardila y Díaz 2002, Saavedra *et al.* 2003, Borrero-Pérez y Benavides-Serrato 2004, Gracia *et al.* 2004, Saavedra y Acero 2004, Gracia y Ardila 2009, Reyes *et al.* 2009, entre otros).

Es importante resaltar el hallazgo de formaciones coralinas de profundidad hasta el momento desconocidas en la región Caribe, particularmente en las áreas de La Guajira, Santa Marta y el Archipiélago de San Bernardo. Estas áreas mostraron ser de gran riqueza ya que en sus proximidades se concentraron casi el 50% de las especies recolectadas en las zonas adyacentes, lo cual implica que dichas formaciones son uno de los puntos con mayor riqueza de especies de la plataforma y el margen continental en Colombia (Reyes *et al.* 2005). Estos ecosistemas son altamente frágiles ya que albergan especies con historias de vida muy diferentes a las que se encuentran en aguas someras, presentando en muchos casos bajas tasas de crecimiento y reproducción, y bajo flujo genético. Las comunidades coralinas encontradas presentan dos aspectos particulares que



*Urobatis jamaicensis*. Fotografía: Andrea Polanco

las diferencian de aquellas presentes en el Atlántico y Pacífico Norte: primero, son dominadas por géneros de corales azooxantelados tales como *Anomocora*, *Madracis* y *Coenosmilia*, diferentes a *Lophelia*, *Madrepora* y *Oculina*; y segundo, su ubicación geográfica es cercana a arrecifes coralinos someros, lo que permite suponer que puede existir algún tipo de interacción entre estos últimos y otros fondos duros de la plataforma (Reyes *et al.* 2005). Por otra parte, se han hallado las primeras evidencias de la presencia de ambientes basados en procesos de quimiosíntesis en el Caribe suroccidental colombiano (Gracia *et al.* 2009), información que se encuentra en proceso de análisis. La composición y estructura de la comunidad que habita estos ambientes puede variar en los diferentes océanos de acuerdo a las condiciones ambientales imperantes y el tipo de ambiente reductor (ej. filtraciones frías, fumarolas hidrotermales o concentraciones de material vegetal en descomposición, entre otros).

El escaso conocimiento que se tiene de los fondos marinos y la idea preconcebida de que son amplias extensiones sedimentarias con características y faunas relativamente homogéneas (Snelgrove 1997), ha llevado a subestimar los impactos que en el ambiente se pueden generar por actividades industriales como la minería y la pesca con redes de arrastre (Enticknap 2002). El incremento de la sedimentación y el calentamiento global son otros factores que pueden afectar estos ecosistemas perturbando la integridad ecológica de estas comunidades. Por supuesto, los ecosistemas del margen continental colombiano no están exentos de las presiones antropogénicas; de hecho, en los planes de desarrollo del país ya se contempla la exploración de nuevos caladeros de pesca a mayores profundidades (FAO 2003), así como la búsqueda de nuevas fuentes de hidrocarburos y gas natural en zonas del margen continental hasta los 3000 m de profundidad.

Es por lo anterior que estos ambientes profundos han sido considerados como prioritarios para su conoci-

miento, manejo y conservación por mecanismos internacionales como la Convención de Diversidad Biológica y la Asamblea General de las Naciones Unidas la cual en el 2006 hace un llamado a los estados miembros y organizaciones regionales para el manejo de pesquerías a cerrar áreas a la pesca de arrastre sobre paisajes importantes como los montes submarinos, respiraderos hidrotermales y corales de profundidad, basados en el conocimiento producido por una sólida base científica (Asamblea General de las Naciones Unidas, Resolución 61va sesión de la Asamblea General, 6 de diciembre de 2006, A/61/L.38).

Además de los inventarios biológicos son de resaltar logros como la consolidación del Grupo de Taxonomía, Sistemática y Ecología Marina, el Grupo de Sistemas de Información Marina y el Grupo de Manejo Integrado de zonas Costeras, liderados por el Invemar, así mismo el fortalecimiento del Museo de Historia Natural Marina de Colombia, y el desarrollo y consolidación del Sistema de Información sobre Biodiversidad Marina de Colombia (SIBM).

Los múltiples esfuerzos que se han venido realizando en términos de la caracterización de zonas poco conocidas, alimentación de bases de datos, elaboración de cartografía, catálogos de diversidad, integración de información biológica y física, y formación del recurso humano, constituyen el primer paso en un largo camino al conocimiento de los ecosistemas de fondos profundos. El proceso requiere de continuidad y plantea desafíos y compromisos importantes, no sólo en términos científicos y técnicos, sino que además requiere de la cooperación entre los diferentes estamentos interesados en la exploración y explotación de esta parte del territorio nacional, para garantizar procedimientos más efectivos que permitan dirigir mejor el esfuerzo humano, la logística y el tiempo, con miras al establecimiento de políticas de manejo apropiadas que garanticen el aprovechamiento sostenible de los recursos.

Este libro tiene como objetivo el sintetizar la información que sobre la plataforma y el talud del mar Caribe colombiano se ha recolectado, así como de los resultados obtenidos en las diferentes exploraciones, y proponer un portafolio de áreas significativas para la biodiversidad marina. El enfoque y origen de la información son un tanto diferentes a lo largo de los capítulos. Los concernientes a la geología, climatología y oceanografía presentan una síntesis de sus componentes más generales en la zona, complementados con los datos obtenidos durante las expediciones ANH I y ANH II. Los capítulos de fitoplancton y zooplancton muestran la caracterización de dichos componentes a nivel de grandes grupos taxonómicos encontrada durante los muestreos realizados por las expediciones ANH I y II.

Los capítulos siguientes presentan un resumen sobre las generalidades de los grupos de la megafauna (peces, crustáceos, moluscos, equinodermos, corales y briozoos) y resumen la información sobre cada uno de ellos obtenida por medio de arrastres semicuantitativos realizados durante las exploraciones CIOH-Invemar-Smithsonian, Macrofauna I y II, Marcoral, Corpogujira y ANH I y II. Las características de los arrastres y los métodos de selección y preservación de muestras se presentan al final de esta introducción.

El análisis de la información de la megafauna permitió modelar el comportamiento de importantes índices ecológicos a lo largo del mar Caribe colombiano y detectar los ensamblajes de especies que lo habitan, información que se presenta en el capítulo 11.

El capítulo 12 presenta el portafolio de áreas significativas para la biodiversidad obtenido a partir de la identificación y distribución de objetos de conservación realizada con base en la información secundaria disponible y la obtenida durante las expediciones realizadas desde 1995.

Finalmente, en el último capítulo se presenta la forma en que fueron empleadas las herramientas de las tecno-

logías de la información y la comunicación para producir los productos presentados en el libro, y se dan las recomendaciones y enseñanzas aprendidas para aplicarlas en investigaciones de este tipo.

## MUESTREO DE MEGAFUNA

Los muestreos se realizaron a bordo del buque de investigaciones B/I Ancón, de propiedad del Invemar, el cual tiene una eslora de 18,5 m, un desplazamiento de 60 tn y alberga hasta cinco tripulantes y seis investigadores en condiciones cómodas.

Una vez ubicados en la estación, y mediante las cartas batimétricas y los modelos digitales de terreno disponibles, se realizó la búsqueda de un segmento del fondo marino homogéneo, de pendiente moderada, y de al menos 3 km de longitud en el cual realizar los arrastres de fondo. Las colectas se realizaron por medio de una red de arrastre demersal tipo semi-globo con una relinga superior de 7,70 m y una inferior de 9,50 m, con un copo es de 30 mm y un sobrecopo de paño sin nudos de 10 mm; la red estaba dotada de dos compuertas metálicas de 91 cm x 63 cm. La red se bajaba y era arrastrada durante 10 min, contados a partir del momento en que tocaba fondo, a una velocidad de 5,6 km/h (3 nd). A profundidades menores a 500 m se realizaron dos arrastres, uno de ida y uno de vuelta; a mayores profundidades, y debido al largo tiempo que implicaba la maniobra, solamente se realizó un arrastre con duración de 20 min.

Una vez el material llegaba a cubierta se tomaba el registro fotográfico, se anotaba la descripción general de la captura, y se lavaba con abundante agua marina en un tamiz de 1x1 m y un ojo de malla de 500  $\mu$ m.

Los ejemplares fueron separados por grupos taxonómicos, guardados por morfotipos en bolsas plásticas rotuladas, las cuales eran transportadas finalmente al

laboratorio en canecas plásticas con el preservante; etanol al 70% o formalina al 10% dependiendo del tipo de organismo.

En casos particulares algunos ejemplares fueron humedecidos y congelados en una solución de agua de mar sobresaturada con NaCl con el fin de preservar su coloración, y otros fueron almacenados el etanol al 96 % o absoluto para emplearlos en análisis específicos.

En la Figura 1 se presenta el mapa de ubicación de las estaciones, y en el Anexo 1 sus características.

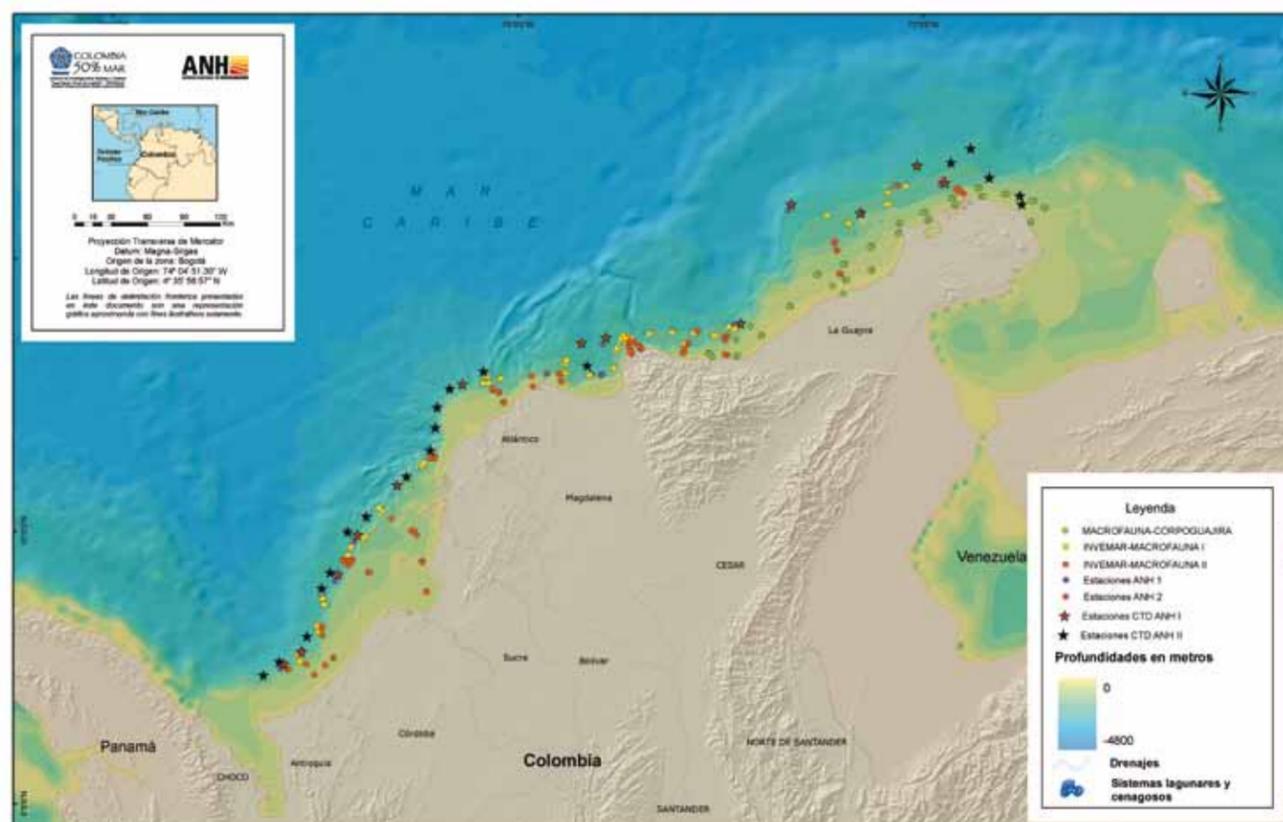
La totalidad del material biológico fue trasladado al laboratorio del Museo de Historia Natural Marina de Colombia del Inveemar, donde se realizó su postproceso y posterior almacenamiento.

## REFERENCIAS

- Ardila N.E. y J.M. Díaz. 2002. *Armina juliana* (Nudibranchia: Arminoidea: Arminidae) a new species from the southern Caribbean. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 31:25-31.
- Borrero-Pérez G.H. y M. Benavides-Serrato. 2004. New record of *Ophiosyzygus disacanthus* Clark, 1911 (Echinodermata: Ophiuroidea: Ophiomyxidae) in the Caribbean Sea. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 117(4):541-544.
- Enticknap B. 2002. Trawling the north Pacific: Understanding the effects of bottom trawl fisheries on Alaska's living sea-floor. Alaska Marine Conservation Council, 1-22p.
- Gracia M.A., N.E. Ardila y J.M. Díaz. 2004. Gastropods collected along the continental slope of the Colombian Caribbean during the Inveemar-Macrofauna campaigns (1998-2001). *Iberus*, 22(1):43-75.

- Gracia M.A. y N.E. Ardila. 2009. *Striocadulus magdalenensis* a new deep-sea scaphopod (Scaphopoda: Gadilidae) from the Colombian Caribbean. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 38(1):143-150.
- Gracia M.A., N. Rangel-Buitrago, y J. Sellanes. 2009. Algunas evidencias de ambientes reductores en el margen continental del Caribe colombiano. XIII Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar COLACMAR, La Habana, Cuba, CD de resúmenes, página 1036.
- Korn H, S. Friedrich y U. Feit. 2003. Deep-sea genetic resources in the context of the Convention on Biological Diversity and the United Nations Convention on the Law of the Sea. Bundesamt Naturschutz (BfN), Bonn, 84 p.
- Koslow J.A. 1997. Seamounts and the ecology of deep-sea fisheries. *American Scientist*, 85(2):168-176.
- Koslow J.A., G.W. Boehlert, J.D.M. Gordon, R.L. Haedrich, P. Lorange y N. Parin. 2000. Continental slope and deep-sea fisheries: implications for a fragile ecosystem. *ICES Journal of marine Science*, 57:548-557.
- Lattig P. y S. Cairns. 2000. A new species of *Tethocyathus* (Cnidaria: Anthozoa: Scleractinia: Caryophyllidae), a trans-isthmian azooxanthellate species. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 113: 590-595
- Lemaitre R. y A. Bermúdez. 2000. A new cyclodorippoid crab of the genus *Cymonomoides* Tavares, 1993 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Cymonomidae) from Caribbean coast of Colombia. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 113:974-979.
- Mortensen, P.B., M. Hovland, T. Brattegard, y R. Farestveit. 1995. Deep water bioherms of the scleractinian coral *Lophelia pertusa* (L.) at 64°N on the Norwegian shelf: structure and associated megafauna. *Sarsia*, 80, 145-158.
- OHI. 2001. Organización Hidrográfica Internacional. Normalización de los nombres de las formas del relieve submarino: directrices formulario de propuesta terminología. Versión Inglesa/Española, 3a ed., Publicación Batimétrica No. 6, Mónaco, 42 p.
- Reyes J.O., N. Santodomingo, M.A. Gracia, G.H. Borrero-Pérez, G.R. Navas, L.M. Mejía-Ladino, A. Bermúdez y M. Benavides. 2005. Southern Caribbean azooxanthellate coral communities off Colombia. 309-330. En: Freiwald A. y J. Roberts, Eds., *Cold-water Corals and Ecosystems*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Reyes J.O., N. Santodomingo y S.D. Cairns. 2009. Caryophyllidae (Scleractinia) from the Colombian Caribbean. *Zootaxa*, 2262:1-39.

- Saavedra L.M., H. Mok y A. Acero. 2001. Two new species of *Eptatretus* and *Quadratus* (Myxinidae: Myxiniformes) from the Caribbean coast of Colombia. *Copeia*, 4:1026-1033.
- Saavedra L.M., T. Munroe y A. Acero. 2003. *Symphurus hernandezii* (Pleuronectiformes: Cynoglossidae), a new deep-water tonguefish from the southern Caribbean Sea off Colombia. *Bulletin of Marine Science*, 72:955-970.
- Snelgrove P., T. Blackburn y P. Hutchings. 1997. The importance of marine sediment biodiversity in ecosystem processes. *Ambio*, 26:578-583.



**Figura 1.** Estaciones de recolecta de organismos dentro de los proyectos Macrofauna-Corpoaguajira, Inveemar-Macrofauna I, Inveemar-Macrofauna II, ANH I y ANH II a lo largo del Caribe colombiano.

**Anexo 1** Características de las estaciones de recolecta de organismos dentro de los proyectos Macrofauna-Corpoguajira, Invemar-Macrofauna I, Invemar-Macrofauna II, ANH I y ANH II a lo largo del Caribe colombiano.

Estación	Lugar	Latitud inicio	Longitud inicio	Profundidad (m)	Proyecto/Campaña
BT 4	Norte de Punta Caribana	08° 59' 22" N	76° 44' 57" W	290	CIOH-Invemar-Smithsonian
BT 11	Oeste de Isla Mucura	09° 47' 15" N	75° 59' 09" W	60-64	CIOH-Invemar-Smithsonian
BT 12	Oeste de Isla Mucura	09° 48' 11" N	75° 56' 08" W	40-60	CIOH-Invemar-Smithsonian
T 1	Golfo de Morrosquillo	09° 36' 12" N	75° 51' 46" W	39	CIOH-Invemar-Smithsonian
T 2	Golfo de Morrosquillo	09° 38' 19" N	76° 07' 32" W	67-68	CIOH-Invemar-Smithsonian
T 3	Norte de Punta Caribana	08° 57' 03" N	76° 47' 39" W	160-380	CIOH-Invemar-Smithsonian
T 5	Suroccidente de Isla Fuerte	09° 05' 43" N	76° 34' 36" W	180	CIOH-Invemar-Smithsonian
T 6	Suroccidente de Isla Fuerte	09° 06' 42" N	76° 31' 16" W	100	CIOH-Invemar-Smithsonian
T 7	Suroccidente de Isla Fuerte	09° 09' 15" N	76° 29' 19" W	87-107	CIOH-Invemar-Smithsonian
T 8	Noroeste de Tinajones, boca Río Sinú	09° 28' 34" N	75° 55' 15" W	8	CIOH-Invemar-Smithsonian
T 9	Norte de Isla Fuerte	09° 32' 33" N	76° 06' 09" W	45-47	CIOH-Invemar-Smithsonian
T 10	Golfo de Morrosquillo	09° 33' 19" N	76° 06' 36" W	47-49	CIOH-Invemar-Smithsonian
T 13	Este de la Isla Ceycen	09° 41' 46" N	75° 49' 51" W	28	CIOH-Invemar-Smithsonian
T 14	Sur Este de la Isla Ceycen	09° 41' 05" N	75° 46' 08" W	29	CIOH-Invemar-Smithsonian
T 15	Noreste de la Isla Tintipan	09° 56' 26" N	75° 53' 52" W	108-125	CIOH-Invemar-Smithsonian
T 16	Noroeste de la Isla Tintipan	09° 55' 48" N	76° 10' 45" W	176-211	CIOH-Invemar-Smithsonian
T 17	Suroeste de las Islas del Rosario	10° 11' 45" N	75° 53' 56" W	146-171	CIOH-Invemar-Smithsonian
T 18	Suroeste de las Islas del Rosario	10° 12' 39" N	75° 52' 04" W	150-155	CIOH-Invemar-Smithsonian
T 19	Noroeste de las Islas del Rosario	10° 13' 27" N	75° 49' 30" W	124-133	CIOH-Invemar-Smithsonian
T 20	Oeste de la Isla Tesoro	10° 15' 35" N	75° 48' 00" W	148-149	CIOH-Invemar-Smithsonian
E 1	Este de Bocas de Ceniza	11° 13' 54" N	74° 39' 43" W	404	Invemar Macrofauna I
E 2	Este de Bocas de Ceniza	11° 14' 08" N	74° 39' 15" W	406	Invemar Macrofauna I
E 3	Este de Bocas de Ceniza	11° 09' 36" N	74° 39' 03" W	208	Invemar Macrofauna I
E 4	Este de Bocas de Ceniza	11° 09' 42" N	74° 40' 05" W	204	Invemar Macrofauna I
E 5	Costa afuera de Bahía Chengue	11° 25' 53" N	74° 11' 41" W	402	Invemar Macrofauna I
E 6	Costa afuera de Bahía Chengue	11° 25' 45" N	74° 12' 53" W	448	Invemar Macrofauna I
E 7	Costa afuera Bahía Concha	11° 23' 27" N	74° 12' 46" W	218	Invemar Macrofauna I
E 8	Costa afuera Bahía Concha	11° 23' 16" N	74° 12' 04" W	200	Invemar Macrofauna I
E 9	Costa afuera de Punta Gallinas	12° 33' 53" N	71° 50' 33" W	300	Invemar Macrofauna I
E 10	Costa afuera de Bahía Honda	12° 34' 03" N	71° 49' 60" W	314	Invemar Macrofauna I
E 11	Costa afuera de Bahía Portete	12° 32' 03" N	72° 07' 58" W	454	Invemar Macrofauna I
E 12	Costa afuera de Bahía Portete	12° 31' 27" N	72° 07' 45" W	452	Invemar Macrofauna I
E 13	Costa afuera de Bahía Portete	12° 28' 59" N	72° 15' 29" W	454	Invemar Macrofauna I
E 14	Costa afuera de Bahía Portete	12° 29' 02" N	72° 15' 29" W	450	Invemar Macrofauna I
E 15	Costa afuera de Bahía Portete	12° 24' 22" N	72° 15' 01" W	304	Invemar Macrofauna I
E 16	Costa afuera del Cabo de la Vela	12° 23' 23" N	72° 16' 11" W	304	Invemar Macrofauna I
E 17	Costa afuera del Cabo de la Vela	12° 15' 30" N	72° 33' 24" W	318	Invemar Macrofauna I
E 18	Costa afuera del Cabo de la Vela	12° 14' 56" N	72° 32' 57" W	308	Invemar Macrofauna I
E 19	Costa afuera del Cabo de la Vela	12° 19' 14" N	72° 42' 52" W	464	Invemar Macrofauna I
E 20	Costa afuera del Cabo de la Vela	12° 18' 56" N	72° 42' 32" W	460	Invemar Macrofauna I
E 21	Costa afuera de Dibulla	11° 29' 47" N	73° 27' 06" W	476	Invemar Macrofauna I
E 22	Costa afuera de Dibulla	11° 29' 38" N	73° 26' 21" W	490	Invemar Macrofauna I

**Continuación de Anexo 1.**

Estación	Lugar	Latitud inicio	Longitud inicio	Profundidad (m)	Proyecto/Campaña
E 23	Costa afuera de Dibulla	11° 29' 08" N	73° 22' 50" W	298	Invemar Macrofauna I
E 24	Costa afuera de Dibulla	11° 29' 04" N	73° 23' 58" W	308	Invemar Macrofauna I
E 25	Costa afuera de Palomino	11° 25' 58" N	73° 31' 46" W	304	Invemar Macrofauna I
E 26	Costa afuera de Palomino	11° 26' 23" N	73° 33' 00" W	306	Invemar Macrofauna I
E 27	Costa afuera desembocadura Río Don Diego	11° 27' 14" N	73° 42' 12" W	492	Invemar Macrofauna I
E 28	Costa afuera desembocadura Río Don Diego	11° 26' 53" N	73° 41' 47" W	500	Invemar Macrofauna I
E 29	Costa afuera desembocadura Río Buritaca	11° 22' 17" N	73° 45' 17" W	296	Invemar Macrofauna I
E 30	Costa afuera desembocadura Río Buritaca	11° 22' 34" N	73° 46' 01" W	308	Invemar Macrofauna I
E 31	Costa afuera desembocadura Río Piedras	11° 27' 28" N	73° 51' 54" W	494	Invemar Macrofauna I
E 32	Costa afuera desembocadura Río Piedras	11° 27' 18" N	73° 51' 53" W	492	Invemar Macrofauna I
E 33	Costa afuera de Guachaquita	11° 27' 30" N	74° 01' 08" W	502	Invemar Macrofauna I
E 34	Costa afuera de Guachaquita	11° 26' 34" N	74° 01' 31" W	500	Invemar Macrofauna I
E 35	Costa afuera de la Bahía de Nenguanje	11° 24' 56" N	74° 10' 48" W	304	Invemar Macrofauna I
E 36	Costa afuera de la Bahía de Nenguanje	11° 24' 53" N	74° 09' 38" W	296	Invemar Macrofauna I
E 37	Costa afuera de Bahía Chengue	11° 24' 56" N	74° 12' 48" W	308	Invemar Macrofauna I
E 38	Costa afuera de Bahía Chengue	11° 24' 56" N	74° 11' 48" W	292	Invemar Macrofauna I
E 39	Costa afuera de Bahía Concha	11° 25' 13" N	74° 14' 30" W	504	Invemar Macrofauna I
E 40	Costa afuera de Bahía Concha	11° 25' 54" N	74° 13' 00" W	494	Invemar Macrofauna I
E 41	Costa afuera de Granate	11° 19' 47" N	74° 17' 03" W	492	Invemar Macrofauna I
E 42	Costa afuera de Granate	11° 19' 49" N	74° 16' 08" W	500	Invemar Macrofauna I
E 43	Costa afuera de la Ciénaga Grande de Santa Marta	11° 15' 14" N	74° 39' 12" W	466	Invemar Macrofauna I
E 44	Costa afuera de la Ciénaga Grande de Santa Marta	11° 15' 23" N	74° 38' 19" W	474	Invemar Macrofauna I
E 45	Costa afuera de Punta Gloria	11° 11' 48" N	74° 17' 16" W	276	Invemar Macrofauna I
E 46	Costa afuera de Punta Gloria	11° 11' 48" N	74° 17' 33" W	282	Invemar Macrofauna I
E 47	Costa afuera de Cartagena	10° 28' 31" N	75° 42' 33" W	280	Invemar Macrofauna I
E 48	Costa afuera de Cartagena	10° 28' 26" N	75° 42' 29" W	282	Invemar Macrofauna I
E 49	Costa afuera de Bocas de Ceniza	11° 05' 07" N	75° 15' 20" W	318	Invemar Macrofauna I
E 50	Costa afuera de Bocas de Ceniza	11° 05' 33" N	75° 15' 23" W	312	Invemar Macrofauna I
E 51	Costa afuera de Bocas de Ceniza	11° 07' 43" N	75° 14' 05" W	480	Invemar Macrofauna I
E 52	Costa afuera de Bocas de Ceniza	11° 08' 06" N	75° 13' 38" W	492	Invemar Macrofauna I
E 53	Costa afuera de Bocas de Ceniza	11° 07' 14" N	75° 08' 15" W	490	Invemar Macrofauna I
E 54	Costa afuera de Bocas de Ceniza	11° 07' 08" N	75° 07' 47" W	502	Invemar Macrofauna I
E 55	Costa afuera de Arboletes	09° 02' 27" N	76° 36' 46" W	303	Invemar Macrofauna I
E 56	Costa afuera de Arboletes	09° 02' 56" N	76° 36' 58" W	290	Invemar Macrofauna I
E 57	Costa afuera de Arboletes	09° 05' 12" N	76° 37' 05" W	500	Invemar Macrofauna I
E 58	Costa afuera de Arboletes	09° 05' 04" N	76° 37' 42" W	510	Invemar Macrofauna I
E 59	Costa afuera de Puerto Escondido	09° 15' 56" N	76° 28' 41" W	315	Invemar Macrofauna I
E 60	Costa afuera de Puerto Escondido	09° 16' 11" N	76° 29' 01" W	288	Invemar Macrofauna I
E 61	Costa afuera de Puerto Escondido	09° 18' 26" N	76° 29' 37" W	490	Invemar Macrofauna I
E 62	Costa afuera de Puerto Escondido	09° 18' 24" N	76° 29' 39" W	498	Invemar Macrofauna I
E 63	Costa afuera de la Ensenada de la Rada	09° 27' 27" N	76° 25' 41" W	286	Invemar Macrofauna I
E 64	Costa afuera de la Ensenada de la Rada	09° 27' 58" N	76° 26' 07" W	313	Invemar Macrofauna I
E 65	Costa afuera de la Ensenada de la Rada	09° 29' 57" N	76° 26' 46" W	498	Invemar Macrofauna I

**Continuación de Anexo 1.**

Estación	Lugar	Latitud inicio	Longitud inicio	Profundidad (m)	Proyecto/Campaña
E 66	Costa afuera de la Ensenada de la Rada	09° 30' 35" N	76° 26' 56" W	500	Invemar Macrofauna I
E 67	Costa afuera del Golfo de Morrosquillo	09° 45' 08" N	76° 15' 12" W	269	Invemar Macrofauna I
E 68	Costa afuera del Golfo de Morrosquillo	09° 45' 40" N	76° 15' 44" W	317	Invemar Macrofauna I
E 69	Costa afuera del Golfo de Morrosquillo	09° 49' 18" N	76° 16' 27" W	520	Invemar Macrofauna I
E 70	Costa afuera del Golfo de Morrosquillo	09° 48' 56" N	76° 15' 33" W	496	Invemar Macrofauna I
E 71	Noroeste Islas de San Bernardo	09° 52' 54" N	76° 13' 59" W	490	Invemar Macrofauna I
E 72	Noroeste Islas de San Bernardo	09° 53' 16" N	76° 14' 41" W	520	Invemar Macrofauna I
E 73	Noroeste Islas de San Bernardo	09° 57' 20" N	76° 07' 57" W	280	Invemar Macrofauna I
E 74	Noroeste Islas de San Bernardo	09° 56' 44" N	76° 09' 43" W	284	Invemar Macrofauna I
E 75	Costa afuera de las Islas del Rosario	10° 08' 55" N	76° 00' 24" W	296	Invemar Macrofauna I
E 76	Costa afuera de las Islas del Rosario	10° 09' 19" N	76° 00' 33" W	296	Invemar Macrofauna I
E 77	Costa afuera de las Islas del Rosario	10° 10' 05" N	76° 01' 31" W	461	Invemar Macrofauna I
E 78	Costa afuera de las Islas del Rosario	10° 10' 31" N	76° 01' 47" W	510	Invemar Macrofauna I
E 80	Costa afuera de Bahía Concha	11° 23' 16" N	74° 12' 04" W	200	Invemar Macrofauna I
E 81	Costa afuera de Cartagena	10° 30' 25" N	75° 41' 59" W	283	Invemar Macrofauna I
E 82	Costa afuera de Bocas de Ceniza	11° 05' 19" N	75° 13' 23" W	293	Invemar Macrofauna I
E 83	Costa afuera de la Ciénaga Grande de Santa Marta	11° 08' 07" N	74° 27' 56" W	260	Invemar Macrofauna I
E 84	Costa afuera de la Bahía de Nenguanje	11° 24' 37" N	74° 12' 16" W	276	Invemar Macrofauna I
E 85	Punta Gallinas	12° 28' 34" N	71° 42' 12" W	22	Invemar Macrofauna II
E 86	Punta Gallinas	12° 28' 34" N	71° 42' 06" W	20	Invemar Macrofauna II
E 87	Punta Gallinas	12° 29' 45" N	71° 43' 40" W	72	Invemar Macrofauna II
E 88	Punta Gallinas	12° 29' 18" N	71° 43' 52" W	73	Invemar Macrofauna II
E 89	Punta Gallinas	12° 30' 35" N	71° 44' 19" W	152	Invemar Macrofauna II
E 90	Punta Gallinas	12° 30' 33" N	71° 45' 21" W	150	Invemar Macrofauna II
E 91	Costa afuera de Punta Gallinas	12° 34' 35" N	71° 51' 17" W	305	Invemar Macrofauna II
E 92	Costa afuera del Cabo de la Vela	12° 32' 01" N	72° 11' 30" W	493	Invemar Macrofauna II
E 93	Costa afuera del Cabo de la Vela	12° 31' 51" N	72° 12' 06" W	496	Invemar Macrofauna II
E 94	Manaure	12° 06' 45" N	72° 39' 49" W	151	Invemar Macrofauna II
E 95	Manaure	12° 07' 35" N	72° 38' 49" W	154	Invemar Macrofauna II
E 96	Manaure	12° 03' 24" N	72° 38' 17" W	70	Invemar Macrofauna II
E 97	Manaure	12° 03' 17" N	72° 38' 18" W	70	Invemar Macrofauna II
E 98	Manaure	11° 53' 05" N	72° 36' 39" W	21	Invemar Macrofauna II
E 99	Manaure	11° 53' 22" N	72° 37' 12" W	22	Invemar Macrofauna II
E 100	Dibulla	11° 25' 34" N	73° 27' 40" W	150	Invemar Macrofauna II
E 101	Dibulla	11° 25' 46" N	73° 27' 09" W	153	Invemar Macrofauna II
E 102	Dibulla	11° 24' 23" N	73° 28' 18" W	70	Invemar Macrofauna II
E 103	Dibulla	11° 24' 04" N	73° 28' 02" W	72	Invemar Macrofauna II
E 104	Dibulla	11° 17' 32" N	73° 27' 06" W	20	Invemar Macrofauna II
E 105	Dibulla	11° 17' 41" N	73° 27' 58" W	21	Invemar Macrofauna II
E 108	Buritaca	11° 18' 28" N	73° 46' 50" W	70	Invemar Macrofauna II
E 109	Buritaca	11° 18' 31" N	73° 46' 29" W	71	Invemar Macrofauna II
E 110	Buritaca	11° 20' 31" N	73° 46' 00" W	150	Invemar Macrofauna II
E 111	Buritaca	11° 20' 30" N	73° 46' 28" W	152	Invemar Macrofauna II

**Continuación de Anexo 1.**

Estación	Lugar	Latitud inicio	Longitud inicio	Profundidad (m)	Proyecto/Campaña
E 112	Costa afuera de Buritaca	11° 22' 52" N	73° 44' 35" W	300	Invemar Macrofauna II
E 113	Costa afuera de Buritaca	11° 22' 57" N	73° 44' 08" W	300	Invemar Macrofauna II
E 114	Costa afuera de Buritaca	11° 28' 04" N	73° 40' 14" W	498	Invemar Macrofauna II
E 115	Costa afuera de Buritaca	11° 28' 13" N	73° 40' 15" W	504	Invemar Macrofauna II
E 116	Bahía de Nenguanje	11° 20' 05" N	74° 05' 25" W	35	Invemar Macrofauna II
E 117	Bahía de Nenguanje	11° 20' 26" N	74° 05' 28" W	20	Invemar Macrofauna II
E 118	Bahía de Nenguanje	11° 21' 29" N	74° 06' 17" W	76	Invemar Macrofauna II
E 119	Bahía de Nenguanje	11° 21' 24" N	74° 06' 22" W	74	Invemar Macrofauna II
E 120	Frente a Bahía Chengue	11° 23' 07" N	74° 08' 41" W	151	Invemar Macrofauna II
E 121	Frente a Bahía Chengue	11° 23' 13" N	74° 08' 56" W	150	Invemar Macrofauna II
E 122	Frente a Bahía Chengue	11° 23' 14" N	74° 10' 50" W	150	Invemar Macrofauna II
E 123	Frente a Bahía Concha	11° 23' 30" N	74° 10' 17" W	154	Invemar Macrofauna II
E 124	Bahía Concha	11° 20' 01" N	74° 10' 00" W	72	Invemar Macrofauna II
E 125	Bahía Concha	11° 20' 32" N	74° 10' 38" W	72	Invemar Macrofauna II
E 126	Bahía Concha	11° 18' 03" N	74° 09' 36" W	27	Invemar Macrofauna II
E 127	Bahía Concha	11° 18' 29" N	74° 10' 10" W	39	Invemar Macrofauna II
E 128	Isla de Salamanca	11° 05' 58" N	74° 40' 37" W	20	Invemar Macrofauna II
E 129	Isla de Salamanca	11° 05' 46" N	74° 40' 35" W	20	Invemar Macrofauna II
E 130	Golfo de Salamanca	11° 09' 05" N	74° 41' 10" W	70	Invemar Macrofauna II
E 131	Golfo de Salamanca	11° 09' 10" N	74° 41' 57" W	70	Invemar Macrofauna II
E 132	Bocas de Ceniza	11° 08' 18" N	74° 53' 49" W	153	Invemar Macrofauna II
E 133	Bocas de Ceniza	11° 03' 39" N	74° 53' 39" W	148	Invemar Macrofauna II
E 134	Morro Hermoso	10° 56' 36" N	75° 06' 29" W	21	Invemar Macrofauna II
E 135	Morro Hermoso	10° 56' 25" N	75° 06' 36" W	20	Invemar Macrofauna II
E 136	Morro Hermoso	11° 01' 00" N	75° 08' 18" W	72	Invemar Macrofauna II
E 137	Morro Hermoso	11° 01' 12" N	75° 08' 56" W	70	Invemar Macrofauna II
E 138	Morro Hermoso	11° 02' 09" N	75° 11' 06" W	150	Invemar Macrofauna II
E 139	Morro Hermoso	11° 02' 29" N	75° 11' 28" W	145	Invemar Macrofauna II
E 140	Costa afuera de Cartagena	10° 32' 56" N	75° 37' 20" W	309	Invemar Macrofauna II
E 141	Costa afuera de Cartagena	10° 31' 46" N	75° 37' 07" W	309	Invemar Macrofauna II
E 142	Costa afuera de Cartagena	10° 32' 06" N	75° 39' 05" W	487	Invemar Macrofauna II
E 143	Frene a Cartagena	10° 32' 18" N	75° 39' 17" W	463	Invemar Macrofauna II
E 144	Frente a Tigua	10° 05' 16" N	75° 56' 33" W	151	Invemar Macrofauna II
E 145	Frente a Tigua	10° 05' 15" N	75° 56' 34" W	150	Invemar Macrofauna II
E 146	Frente a Tigua	09° 58' 12" N	75° 45' 03" W	67	Invemar Macrofauna II
E 147	Frente a Tigua	10° 00' 05" N	75° 47' 35" W	89	Invemar Macrofauna II
E 148	Frente a Tigua	10° 00' 03" N	75° 46' 09" W	89	Invemar Macrofauna II
E 149	Costa afuera de las Islas de San Bernardo	09° 47' 29" N	76° 17' 22" W	507	Invemar Macrofauna II
E 150	Costa afuera de las Islas de San Bernardo	09° 46' 50" N	76° 17' 45" W	500	Invemar Macrofauna II
E 151	Frente a Tolú	09° 41' 52" N	76° 06' 38" W	71	Invemar Macrofauna II
E 152	Frente a Tolú	09° 41' 47" N	76° 06' 11" W	70	Invemar Macrofauna II
E 153	Costa afuera de Tolú	09° 45' 37" N	76° 15' 19" W	270	Invemar Macrofauna II
E 154	Costa afuera de Tolú	09° 44' 49" N	76° 15' 38" W	280	Invemar Macrofauna II

**Continuación de Anexo 1.**

Estación	Lugar	Latitud inicio	Longitud inicio	Profundidad (m)	Proyecto/Campaña
E 155	Frente a Tolú	09° 47' 12" N	76° 13' 45" W	160	Invemar Macrofauna II
E 156	Frente a Tolú	09° 47' 01" N	76° 14' 12" W	155	Invemar Macrofauna II
E 157	Frente al Golfo de Morrosquillo	09° 33' 16" N	75° 41' 05" W	22	Invemar Macrofauna II
E 158	Frente al Golfo de Morrosquillo	09° 33' 09" N	75° 40' 34" W	22	Invemar Macrofauna II
E 159	Frente a Puerto Escondido	09° 17' 03" N	76° 27' 29" W	158	Invemar Macrofauna II
E 160	Frente a Puerto Escondido	09° 17' 52" N	76° 27' 14" W	160	Invemar Macrofauna II
E 161	Frente a Puerto Escondido	09° 13' 60" N	76° 27' 12" W	71	Invemar Macrofauna II
E 162	Frente a Arboletes	08° 59' 09" N	76° 42' 39" W	151	Invemar Macrofauna II
E 163	Frente a Arboletes	08° 59' 25" N	76° 41' 44" W	150	Invemar Macrofauna II
E 164	Frente a Arboletes	09° 01' 18" N	76° 34' 11" W	70	Invemar Macrofauna II
E 165	Frente a Arboletes	08° 56' 43" N	76° 30' 21" W	21	Invemar Macrofauna II
E 166	Frente a Arboletes	09° 00' 55" N	76° 25' 48" W	21	Invemar Macrofauna II
E 167	Frente a Puerto Escondido	09° 04' 02" N	76° 22' 26" W	21	Invemar Macrofauna II
E 168	Frente a Puerto Escondido	09° 04' 13" N	76° 22' 17" W	20	Invemar Macrofauna II
E 169	Frente a Tigua	09° 46' 47" N	75° 42' 35" W	20	Invemar Macrofauna II
E 170	Frente a Tigua	09° 46' 11" N	75° 42' 47" W	20	Invemar Macrofauna II
M 10	Frente a Tigua	09° 45' 22" N	75° 40' 59" W	10	Invemar Macrofauna II
E 195	Río Palomino	11° 16' 37" N	73° 33' 37" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 197	Dibulla	11° 16' 56" N	73° 22' 55" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 198	Dibulla	11° 17' 21" N	73° 22' 19" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 199	Punta Guamachito	11° 26' 09" N	73° 11' 39" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 200	Punta Guamachito	11° 25' 43" N	73° 12' 09" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 201	Riohacha	11° 39' 01" N	72° 59' 04" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 202	Riohacha	11° 38' 52" N	72° 59' 35" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 203	Manaure	11° 44' 34" N	72° 35' 31" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 204	Manaure	11° 47' 55" N	72° 40' 10" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 205	Manaure	11° 50' 31" N	72° 34' 27" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 206	Manaure	11° 50' 38" N	72° 33' 50" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 207	Punta Semescre	11° 54' 51" N	72° 22' 49" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 208	Punta Semescre	11° 54' 38" N	72° 23' 12" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 209	Cabo de la Vela	12° 11' 25" N	72° 10' 59" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 210	Cabo de la Vela	12° 10' 52" N	72° 10' 47" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 211	Cabo de la Vela	12° 15' 17" N	72° 10' 28" W	50	Macrofauna Corpogujaira
E 212	Cabo de la Vela	12° 15' 35" N	72° 10' 11" W	50	Macrofauna Corpogujaira
E 213	Bahía Portete	12° 16' 43" N	71° 58' 01" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 214	Bahía Portete	12° 17' 31" N	71° 57' 17" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 215	Bahía Honda	12° 23' 07" N	71° 46' 01" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 217	Bahía Honda	12° 23' 50" N	71° 45' 23" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 218	Punta Gallinas	12° 27' 18" N	71° 33' 56" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 219	Punta Gallinas	12° 27' 11" N	71° 33' 07" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 220	Cabo Chichibacoa	12° 15' 58" N	71° 12' 00" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 221	Cabo Chichibacoa	12° 16' 11" N	71° 11' 53" W	10	Macrofauna Corpogujaira
E 222	Cabo Chichibacoa	12° 22' 01" N	71° 05' 38" W	50	Macrofauna Corpogujaira

**Continuación de Anexo 1.**

Estación	Lugar	Latitud inicio	Longitud inicio	Profundidad (m)	Proyecto/Campaña
E 223	Cabo Chichibacoa	12° 22' 27" N	71° 06' 33" W	50	Macrofauna Corpogujaira
E 224	Cabo Falso	12° 25' 13" N	71° 10' 22" W	50	Macrofauna Corpogujaira
E 225	Cabo Falso	12° 25' 16" N	71° 11' 49" W	50	Macrofauna Corpogujaira
E 226	Punta Shuapia	12° 28' 25" N	71° 22' 45" W	50	Macrofauna Corpogujaira
E 227	Punta Shuapia	12° 28' 30" N	71° 24' 06" W	50	Macrofauna Corpogujaira
E 228	Punta Gallinas	12° 30' 51" N	71° 34' 41" W	50	Macrofauna Corpogujaira
E 229	Punta Gallinas	12° 30' 41" N	71° 35' 59" W	50	Macrofauna Corpogujaira
E 230	Bahía Honda	12° 26' 57" N	71° 46' 32" W	50	Macrofauna Corpogujaira
E 231	Bahía Honda	12° 26' 23" N	71° 47' 37" W	50	Macrofauna Corpogujaira
E 232	Portete	12° 20' 32" N	71° 58' 53" W	50	Macrofauna Corpogujaira
E 233	Portete	12° 19' 58" N	71° 59' 60" W	50	Macrofauna Corpogujaira
E 234	Punta Solipa	12° 05' 25" N	72° 22' 52" W	50	Macrofauna Corpogujaira
E 235	Punta Solipa	12° 04' 49" N	72° 23' 27" W	50	Macrofauna Corpogujaira
E 236	Manaure	11° 57' 37" N	72° 34' 45" W	50	Macrofauna Corpogujaira
E 237	Manaure	11° 57' 20" N	72° 35' 41" W	50	Macrofauna Corpogujaira
E 238	Manaure	11° 53' 10" N	72° 46' 28" W	50	Macrofauna Corpogujaira
E 239	Manaure	11° 52' 40" N	72° 47' 25" W	50	Macrofauna Corpogujaira
E 240	Punta Guamachito	11° 30' 07" N	73° 16' 40" W	50	Macrofauna Corpogujaira
E 242	Dibulla	11° 24' 05" N	73° 23' 07" W	50	Macrofauna Corpogujaira
E 244	Frente a Río Palomino	11° 18' 08" N	73° 35' 06" W	50	Macrofauna Corpogujaira
E 245	Frente a Río Palomino	11° 18' 04" N	73° 35' 06" W	50	Macrofauna Corpogujaira
C 1	AMP-CRSB-A	09° 48' 54" N	76° 12' 27" W	108-147	Macrofauna Marcoral
C 2	AMP-CRSB-A	09° 46' 53" N	76° 13' 30" W	123-151	Macrofauna Marcoral
C 3	AMP-CRSB-A	09° 46' 26" N	76° 13' 54" W	117-154	Macrofauna Marcoral
C 4	Costa Afuera-San Bernardo-B	09° 53' 19" N	76° 10' 56" W	113-160	Macrofauna Marcoral
D 1	AMP-CRSB-A	09° 51' 07" N	76° 11' 04" W	101-102	Macrofauna Marcoral
D 3	AMP-CRSB-A	09° 48' 53" N	76° 12' 28" W	210-217	Macrofauna Marcoral
D 4	AMP-CRSB-A	09° 48' 40" N	76° 13' 08" W	264-285	Macrofauna Marcoral
D 6	AMP-CRSB-A	09° 47' 18" N	76° 14' 32" W	300	Macrofauna Marcoral
D 9	AMP-CRSB-A	09° 44' 52" N	76° 15' 50" W	311	Macrofauna Marcoral
D 10	AMP-CRSB-A	09° 45' 28" N	76° 15' 01" W	264-271	Macrofauna Marcoral
D 11	AMP-CRSB-A	09° 46' 26" N	76° 14' 11" W	200-202	Macrofauna Marcoral
D 12	AMP-CRSB-A	09° 47' 06" N	76° 13' 17" W	182-184	Macrofauna Marcoral
D 13	AMP-CRSB-A	09° 48' 05" N	76° 12' 37" W	121-122	Macrofauna Marcoral
D 14	AMP-CRSB-A	09° 48' 46" N	76° 11' 55" W	102	Macrofauna Marcoral
D 15	AMP-CRSB-A	09° 49' 33" N	76° 11' 11" W	100	Macrofauna Marcoral
D 16	AMP-CRSB-A	09° 50' 19" N	76° 10' 19" W	98	Macrofauna Marcoral
D 17	AMP-CRSB-A	09° 49' 30" N	76° 09' 35" W	95	Macrofauna Marcoral
D 18	AMP-CRSB-A	09° 49' 49" N	76° 10' 26" W	94	Macrofauna Marcoral
D 19	AMP-CRSB-A	09° 48' 04" N	76° 11' 09" W	95	Macrofauna Marcoral
D 20	AMP-CRSB-A	09° 47' 17" N	76° 11' 56" W	98	Macrofauna Marcoral
D 21	AMP-CRSB-A	09° 46' 36" N	76° 12' 49" W	102	Macrofauna Marcoral
D 22	AMP-CRSB-A	09° 45' 45" N	76° 13' 28" W	101	Macrofauna Marcoral

**Continuación de Anexo 1.**

Estación	Lugar	Latitud inicio	Longitud inicio	Profundidad (m)	Proyecto/Campaña
D 23	AMP-CRSB-A	09° 44' 52" N	76° 14' 53" W	191-197	Macrofauna Marcoral
D 24	AMP-CRSB-A	09° 44' 05" N	76° 15' 03" W	174-177	Macrofauna Marcoral
D 28	AMP-CRSB-A	09° 46' 39" N	76° 13' 51" W	178-180	Macrofauna Marcoral
D 30	Costa Afuera-San Bernardo-B	09° 53' 36" N	76° 10' 58" W	197	Macrofauna Marcoral
D 31	Costa Afuera-San Bernardo-B	09° 52' 55" N	76° 11' 18" W	225	Macrofauna Marcoral
D 32	Costa Afuera-San Bernardo-B	09° 51' 51" N	76° 11' 16" W	184	Macrofauna Marcoral
D 33	Costa Afuera-San Bernardo-B	09° 51' 45" N	76° 10' 34" W	98	Macrofauna Marcoral
D 34	Costa Afuera-San Bernardo-B	09° 52' 54" N	76° 10' 07" W	121	Macrofauna Marcoral
D 35	Costa Afuera-San Bernardo-B	09° 54' 01" N	76° 10' 10" W	106	Macrofauna Marcoral
D 36	Costa Afuera-San Bernardo-B	09° 54' 01" N	76° 09' 03" W	105	Macrofauna Marcoral
D 37	Costa Afuera-San Bernardo-B	09° 52' 53" N	76° 09' 03" W	107	Macrofauna Marcoral
D 38	Costa Afuera-San Bernardo-B	09° 51' 46" N	76° 09' 02" W	101	Macrofauna Marcoral
D 46	Costa Afuera-San Bernardo-B	09° 54' 01" N	76° 10' 53" W	262-265	Macrofauna Marcoral
D 55	Costa Afuera-Rosario-C	10° 01' 19" N	76° 02' 13" W	151	Macrofauna Marcoral
D 56	Costa Afuera-Rosario-C	10° 02' 08" N	76° 01' 35" W	157	Macrofauna Marcoral
D 57	Costa Afuera-Rosario-C	10° 02' 55" N	76° 00' 43" W	159	Macrofauna Marcoral
D 58	Costa Afuera-Rosario-C	10° 03' 38" N	76° 01' 31" W	172-173	Macrofauna Marcoral
D 59	Costa Afuera-Rosario-C	10° 02' 56" N	76° 02' 17" W	148-151	Macrofauna Marcoral
D 60	Costa Afuera-Rosario-C	10° 02' 07" N	76° 03' 05" W	139	Macrofauna Marcoral
D 67	Costa Afuera-Rosario-C	10° 02' 54" N	76° 03' 55" W	220-231	Macrofauna Marcoral
D 68	Costa Afuera-Rosario-C	10° 03' 42" N	76° 03' 08" W	252-270	Macrofauna Marcoral
D 69	Costa Afuera-Rosario-C	10° 04' 25" N	76° 02' 19" W	154-159	Macrofauna Marcoral
D 72	Costa Afuera-Rosario-C	10° 03' 18" N	76° 02' 30" W	72-73	Macrofauna Marcoral
D 74	Costa Afuera-Rosario-C	10° 04' 25" N	76° 02' 03" W	75	Macrofauna Marcoral
D 75	Costa Afuera-Rosario-C	10° 02' 30" N	76° 03' 36" W	100	Macrofauna Marcoral
D 76	Costa Afuera-Rosario-C	10° 03' 32" N	76° 20' 15" W	120-127	Macrofauna Marcoral
E 246	Costa Afuera-San Bernardo-B	09° 52' 58" N	76° 09' 14" W	107	Macrofauna Marcoral
EA 247	Frente a la desembocadura del Río Magdalena	11° 09' 15" N	74° 47' 09" W	191	Invemar ANH I
EA 249	Costa afuera de la Ciénaga Grande de Santa Marta	11° 09' 12" N	74° 27' 11" W	300	Invemar ANH I
EA 250	Costa afuera de la Ciénaga Grande de Santa Marta	11° 08' 41" N	74° 23' 07" W	286	Invemar ANH I
EA 251	Costa afuera de la Ciénaga Grande de Santa Marta	11° 09' 10" N	74° 22' 37" W	360	Invemar ANH I
EA 253	Costa afuera de Bahía Honda	12° 32' 49" N	71° 51' 57" W	265	Invemar ANH I
EA 254	Costa afuera de Bahía Honda	12° 32' 31" N	71° 52' 11" W	265	Invemar ANH I
EA 255	Costa afuera de Bahía Portete	12° 40' 31" N	72° 03' 20" W	750	Invemar ANH I
EA 256	Costa afuera del Cabo de la Vela	12° 20' 06" N	72° 27' 04" W	265	Invemar ANH I
EA 257	Costa afuera del Cabo de la Vela	12° 19' 51" N	72° 27' 35" W	265	Invemar ANH I
EA 258	Costa afuera de Manaure	12° 21' 05" N	72° 59' 53" W	940	Invemar ANH I
EA 259	Costa afuera de Mingueo	11° 30' 44" N	73° 23' 34" W	300	Invemar ANH I
EA 260	Costa afuera de Mingueo	11° 30' 41" N	73° 23' 42" W	300	Invemar ANH I
EA 261	Costa afuera de Isla Aguja	11° 22' 19" N	74° 22' 17" W	803	Invemar ANH I
EA 263	Costa afuera de Galerazamba	11° 03' 52" N	75° 25' 05" W	500	Invemar ANH I
EA 264	Costa afuera de las Islas del Rosario	10° 19' 50" N	75° 53' 48" W	500	Invemar ANH I
EA 265	Costa afuera de la Isla Tintipan	09° 55' 32" N	76° 12' 58" W	500	Invemar ANH I

**Continuación de Anexo 1.**

Estación	Lugar	Latitud inicio	Longitud inicio	Profundidad (m)	Proyecto/Campaña
EA 266	Costa afuera de las Islas de San Bernardo	09° 37' 53" N	76° 21' 20" W	500	Invemar ANH I
EA 267	Costa afuera de Arboletes	09° 07' 31" N	76° 36' 05" W	500	Invemar ANH I
EA 268	Costa afuera de Punta Caribaná	08° 59' 25" N	76° 45' 43" W	500	Invemar ANH I
EA 269	Frente a Cabo Falso, alta Guajira	12° 24' 31" N	71° 18' 11" W	34	Invemar ANH II
EA 270	Frente a Cabo Falso, alta Guajira	12° 24' 36" N	71° 19' 11" W	32	Invemar ANH II
EA 271	Frente a Cabo Falso, alta Guajira	12° 27' 46" N	71° 17' 44" W	59	Invemar ANH II
EA 272	Frente a Cabo Falso, alta Guajira	12° 27' 26" N	71° 17' 04" W	60	Invemar ANH II
EA 273	Costa afuera de Punta Taroita, alta Guajira	12° 35' 54" N	71° 28' 43" W	563	Invemar ANH II
EA 274	Costa afuera de Punta Gallinas	12° 49' 32" N	71° 36' 51" W	862	Invemar ANH II
EA 275	Costa afuera de Bahía Honda	12° 41' 19" N	71° 49' 29" W	701	Invemar ANH II
EA 276	Costa afuera de Arboletes	08° 57' 04" N	76° 51' 41" W	782	Invemar ANH II
EA 277	Costa afuera de Arboletes	09° 03' 28" N	76° 44' 27" W	813	Invemar ANH II
EA 278	Costa afuera de la Ensenada de la Rada	09° 17' 20" N	76° 31' 58" W	675	Invemar ANH II
EA 279	Costa afuera de Tinajones	09° 34' 25" N	76° 27' 33" W	702	Invemar ANH II
EA 280	Costa afuera del Golfo de Morrosquillo	09° 42' 31" N	76° 23' 04" W	748	Invemar ANH II
EA 281	Costa afuera del PNNCRSB	10° 00' 15" N	76° 15' 18" W	758	Invemar ANH II
EA 282	Costa afuera de Galerazamba	11° 03' 09" N	75° 29' 26" W	718	Invemar ANH II
EA 283	Costa afuera de Galerazamba	10° 54' 43" N	75° 35' 46" W	790	Invemar ANH II
EA 284	Costa afuera de Galerazamba	10° 44' 04" N	75° 37' 15" W	705	Invemar ANH II
EA 285	Costa afuera de Punta Canoas	10° 34' 44" N	75° 39' 53" W	776	Invemar ANH II
EA 286	Costa afuera de las Islas del Rosario	10° 06' 51" N	76° 07' 18" W	441	Invemar ANH II
EA 287	Costa afuera de la Isla de Tierrabomba	10° 21' 54" N	75° 51' 19" W	323	Invemar ANH II
EA 288	Costa afuera de Puerto Colombia	11° 08' 23" N	75° 16' 08" W	651	Invemar ANH II
EA 289	Costa afuera de Ciénaga	11° 12' 02" N	74° 30' 00" W	587	Invemar ANH II
EA 290	Costa afuera de Bahía Concha	11° 25' 23" N	74° 19' 13" W	740	Invemar ANH II
EA 291	Costa afuera Playa Brava - Parque Tayrona	11° 33' 40" N	73° 57' 07" W	788	Invemar ANH II
EA 292	Costa afuera de Buritaca	11° 32' 17" N	73° 44' 41" W	728	Invemar ANH II
EA 293	Costa afuera sector Las Gaviotas	11° 31' 59" N	73° 28' 40" W	774	Invemar ANH II

# GEOLOGÍA GENERAL, MORFOLOGÍA SUBMARINA Y FACIES SEDIMENTARIAS EN EL MARGEN CONTINENTAL Y LOS FONDOS OCEÁNICOS DEL MAR CARIBE COLOMBIANO

*Nelson Rangel-Buitrago<sup>1</sup> y Javier Idárraga-García<sup>2</sup>*

1. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – Invemar, Cerro Punta Betín, Santa Marta, Colombia.

\* Dirección actual: Universidad de Cádiz, España. Correo electrónico: [nelson.rangelbuitrago@mail.uca.es](mailto:nelson.rangelbuitrago@mail.uca.es)

2. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – Invemar, Programa de Geociencias Marinas y Costeras, Cerro Punta Betín, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: [javier\\_idarraga@invemar.org.co](mailto:javier_idarraga@invemar.org.co)

**Figura separador:** Colinas y cañones submarinos del sector del Sinú. Modelo de sombras obtenido a partir de información batimétrica suministrada por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH).

## RESUMEN

Se presenta en este capítulo la geología, morfología y sedimentología del margen continental y de los fondos oceánicos del Caribe colombiano producto del análisis de información colectada dentro de los proyectos ANH I y II y la recopilación de estudios realizados por diferentes instituciones en los últimos 40 años. Morfológicamente el Caribe colombiano presenta sectores contrastantes donde se tiene una plataforma continental amplia (hasta de 50 km costa afuera - golfo de Morrosquillo) y otros sectores donde su desarrollo es casi nulo (zona adyacente a la Sierra Nevada de Santa Marta). La morfología submarina es diversa y está influenciada en los sectores central y suroccidental por la presencia del delta del Magdalena y del cinturón o prisma acrecionario del Sinú, los cuales se caracterizan por exhibir geofomas como colinas, escarpes, cañones, sistemas de canales, *levees*, depósitos de flujos de masa y formas dómicas producto del diapirismo de lodo. El sector nororiental, correspondiente a la margen continental de La Guajira, presenta una plataforma amplia que aumenta su tamaño hacia el oriente y cuyo rasgo más significativo es el cañón de Ranchería. Desde el punto de vista sedimentológico, en la plataforma continental de La Guajira y del Sinú se tiene sedimentación areno-lodosa predominantemente calcárea asociada a la presencia de formaciones arrecifales y de algas; en los sectores Tayrona y del delta del Magdalena predominan los sedimentos terrígenos areno-lodosos. Este manuscrito constituye una base sobre la cual futuros estudios puedan ser propuestos y ejecutados que conlleven a un entendimiento más completo de los procesos geológicos pasados y los que operan actualmente en el Caribe colombiano.

**Palabras clave:** *Geología, morfología, facies sedimentarias, margen continental, fondos oceánicos, Caribe colombiano.*

## ABSTRACT

This work deals with geological, morphological and sedimentological features of continental margin and oceanic floor of the Caribbean Colombian Sea. Used data came from research projects ANH I and II and from previous investigations and reports carried out by several institutions during the last 40 years. Colombian Caribbean Sea exhibits different morphological sectors which are characterized by a wide continental shelf (with maximum values of 50 km at the gulf of Morrosquillo) or a very narrow one (at Sierra Nevada de Santa Marta area). Bottom morphology ranges a lot and, in the central and southwest sectors, is controlled by the Magdalena River delta and Sinú accretionary wedge, both of them exhibiting characteristic morphologies as submerged hills, escarpments, canyons, channels, levees, mass-flow deposits and domes related to mud diapirism. The northeastern sector, associated with the continental margin of La Guajira, shows a continental shelf which becomes wider eastward and its principal feature is the Ranchería canyon. From the sedimentological point of view, the continental shelf at La Guajira and Sinú records depositional processes of calcareous sandy and silt sediments related to the presence of algae and reefs; in the Tayrona and Magdalena delta sectors, sediments are essentially composed by sandy and silty terrigenous deposits. Finally, the results of this manuscript constitute basic information for future investigations and studies devoted to the characterization of past and present geological processes in the Colombian Caribbean Sea.

**Keywords:** *Geology, morphology, sedimentary facies, continental margin, ocean deeps, Colombian Caribbean.*

## INTRODUCCIÓN

Dentro de las investigaciones realizadas en los océanos la batimetría de alta resolución y los muestreos sedimentológicos son herramientas fundamentales para el entendimiento de los procesos tanto geológicos como biológicos. Mundialmente este tipo de investigación se ha desarrollado desde hace más de cinco décadas por medio de buques de investigación especializados y ha estado estrechamente ligada al conocimiento de la morfología del lecho oceánico para la exploración y explotación de hidrocarburos, el estudio de ecosistemas de profundidad y el tendido de cables submarinos, entre otras actividades.

En el Caribe colombiano el conocimiento de los procesos geológicos marinos se inició a mediados de la década de los sesenta con la investigación desarrollada en el frente deltaico del río Magdalena por el *R/V Thomas Washington* perteneciente a la institución Scripps de San Diego (California). Posteriormente barcos como el *R/V Oregon*, *R/V Trident*, *R/V Pillsbury* y *R/V Bio-Hespérides* desarrollaron investigación sistemática en lugares específicos a lo largo del Caribe colombiano.

Actualmente la investigación en el lecho oceánico va de la mano de la intensa búsqueda de nuevos yacimientos hidrocarburíferos costa afuera. Desde hace una década instituciones como la Empresa Colombiana de Petróleos (Ecopetrol S.A.), la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) y el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar) han adquirido información batimétrica y sedimentológica detallada que ha permitido avanzar en el conocimiento sobre la geología, morfología submarina y facies sedimentarias del Caribe colombiano.

En este capítulo se presenta la información batimétrica y sedimentológica colectada por estas instituciones con el objetivo de hacer una actualización del contexto geológico

general del margen continental y fondos oceánicos del Caribe colombiano, describiendo la geomorfología y facies sedimentarias entre 0 y 3500 m de profundidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La caracterización geológica, geomorfológica y sedimentaria presentada en este capítulo fue realizada a partir de la información batimétrica suministrada por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), información sedimentológica recolectada en cruceros de investigación realizados por el Invemar y el CIOH, e información secundaria adicional.

Un primer paso dentro de este proceso consistió en la búsqueda de la información geológica y batimétrica de interés dentro del Banco de Información Petrolera de Colombia (EPIS). La información colectada fue organizada, normalizada y estructurada dentro de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para posteriormente llevar a cabo una modelación general la cual consistió en la realización de modelos digitales del terreno (DTM), mapas de sombras y mapas de pendientes, todos ellos insumos básicos para la interpretación geológica y geomorfológica.

A los núcleos de sedimento colectados en los cruceros de investigación Marcoral, Corpoguajira y ANH I y II a bordo del B/I Ancón del Invemar se les efectuaron análisis granulométricos detallados para su caracterización. Estos análisis consistieron en la determinación del tamaño de grano mediante tamizado en seco (Folk 1968), tamizado en húmedo (Folk 1968), método de la pipeta para determinación de las fracciones limo y arcilla (Folk 1968), contenido de materia orgánica (Buchanan y Kain 1971) y contenido de carbonato de calcio (Romero 2006). Estos datos, sumados a la información secundaria proveniente de las investigaciones realizadas por el CIOH en los últimos 30 años, permitieron describir la distribución general de las facies sedimen-

tarias presentes en la plataforma continental del Caribe colombiano y presentar los primeros datos sedimentológicos para el talud continental.

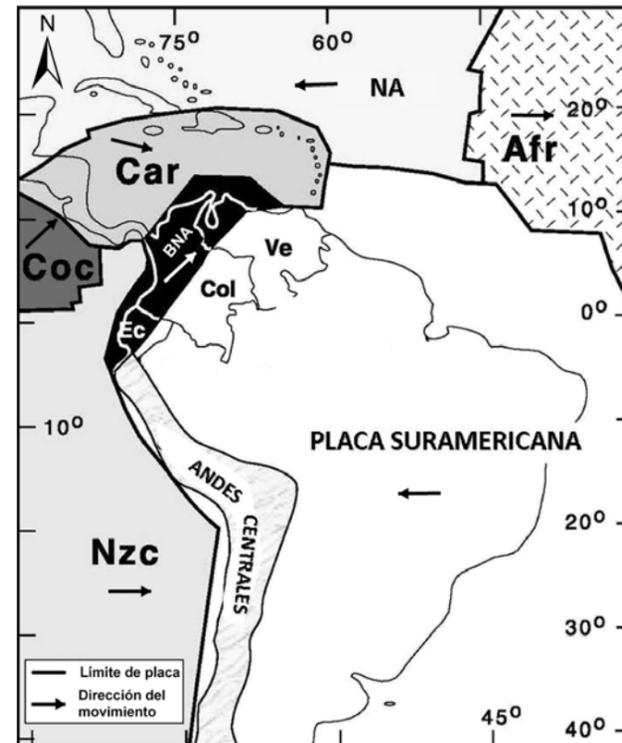
## CONTEXTO GEOLÓGICO

### Configuración geotectónica del Caribe colombiano

El Caribe colombiano es una región geológicamente compleja que se encuentra ubicada dentro de un ambiente tectónico compresional con componentes direccionales producto de la interacción entre la placa continental Suramericana y las placas oceánicas Caribe y Nazca (Taboada *et al.* 2000, Audemard y Audemard 2002, Trenkamp *et al.* 2002, Cortés y Angelier 2005) (Figura 1). El movimiento relativo de estas placas ha generado arcos magmáticos entre el Jurásico y el Paleógeno (entre 200 y 23 Ma), la acreción de fragmentos de corteza oceánica (ofiolitas) del Jurásico-Cretácico (entre 200 y 65 Ma) y la formación de cinturones plegados denominados en la literatura geológica como Sinú y San Jacinto (Duque-Caro 1979, Toto y Kellogg 1992, Flinch 2003, Ingeominas 2003).

La placa Suramericana presenta un movimiento relativo general hacia el occidente desde mediados del Cretácico producto de la expansión del fondo oceánico del Atlántico (Duncan y Hargraves 1984). En consecuencia, la placa oceánica Nazca está siendo subducida por debajo del borde occidental de la placa Suramericana, lo cual es demostrado por la distribución de la sismicidad superficial e intermedia en el sistema de los Andes de Colombia y Ecuador (Kellogg y Bonini 1982). Taboada *et al.* (2000) proponen la interacción entre las placas Caribe y Suramericana como una subducción de muy bajo ángulo, mientras que Cediel *et al.* (2003) prefieren interpretar la interacción entre estas dos placas como una colisión en la cual una de ellas es superpuesta de manera forzada sobre la otra (sobrecabalgamiento forzado).

Algunos autores proponen la existencia del denominado Bloque Norandino (Figura 1), el cual incluye la parte septentrional de los Andes y el Caribe colombiano, cuya dirección de movimiento es hacia el nororiente con respecto a Suramérica (Taboada *et al.* 2000, Trenkamp *et al.* 2002).



**Figura 1.** Configuración geotectónica de la esquina noroccidental de Suramérica. Se resalta en negro el Bloque Norandino (BNA) donde se encuentra localizado el Caribe colombiano. Nzc: placa Nazca; Coc: placa Cocos; Car: placa Caribe; NA: placa Norteamericana; Afr: placa Africana; Ec: Ecuador; Col: Colombia; Ve: Venezuela. Modificado de Cediel *et al.* (2003).

### División estructural del Caribe colombiano

Desde el punto de vista estructural y a partir de la información geológica obtenida en la zona emergida, la región Caribe está dividida en cuatro grandes provincias morfo-estructurales (Cediel *et al.* 2003) (Figura 2):

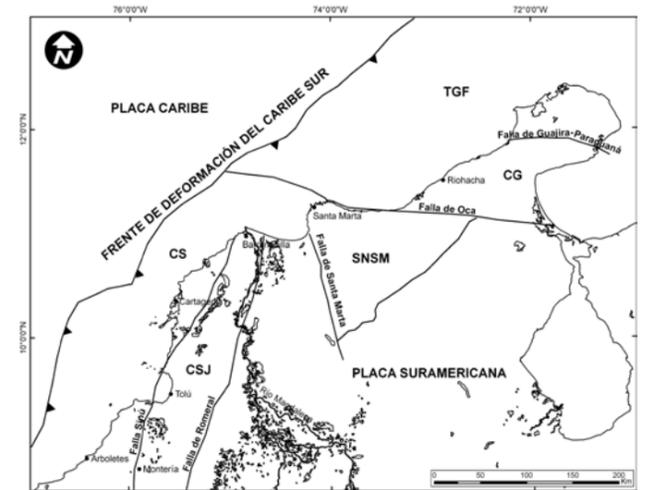
- Terreno Guajira-Falcón
- Sierra Nevada de Santa Marta

- Cinturón de San Jacinto
- Cinturón del Sinú

El terreno Guajira-Falcón se localiza al norte de la Falla de Oca y está compuesto por una mezcla de fragmentos de corteza continental proterozoica (entre 2500 y 542 Ma) y paleozoica (entre 542 y 251 Ma), corteza oceánica cretácica (entre 145 y 65 Ma) y secuencias sedimentarias jurásicas (entre 201 y 145 Ma) acumuladas durante el proceso de emplazamiento de la placa Caribe (Cediel *et al.* 2003). Dentro de esta provincia y limitada al norte por la Falla Guajira-Paraguana y al sur por la Falla de Oca (Ingeominas 1986, Mantilla y Mullet 1991) se encuentra la denominada Cuenca de La Guajira conformada por rocas marinas del Mioceno (entre 23 y 5,3 Ma) y por depósitos cuaternarios (<2,6 Ma) de origen aluvial, eólico y costero (Tschanz *et al.* 1969).

La provincia de la Sierra Nevada de Santa Marta es una región limitada por sistemas de fallas y cuencas que están rellenas por sedimentos neógenos. Su límite en el norte es la Falla de Oca, mientras que en el occidente está limitada por la Falla de Santa Marta. Esta provincia está constituida por rocas metamórficas paleozoicas, rocas ígneas paleógenas (entre 65 y 23 Ma) del Batolito de Santa Marta, rocas sedimentarias marinas del Mioceno tardío-Plioceno (entre 11,6 y 2,3 Ma) y depósitos cuaternarios (<2,6 Ma) aluviales y costeros (Tschanz *et al.* 1969).

El cinturón de San Jacinto está limitado al occidente por la Falla Sinú y al oriente por el Sistema de Fallas de Romeral, el cual lo separa de la cuenca del Valle Inferior del Magdalena. Está conformado por rocas sedimentarias con edades entre cretácicas y miocenas (entre 65 y 5,3 Ma) (Ingeominas, 2003). Este cinturón fue deformado tectónicamente durante el Eoceno medio (entre 48 y 40 Ma) y posteriormente fue reactivado durante el Mioceno-Plioceno tardío (entre 23 y 2,6 Ma) al mismo tiempo que se formó el cinturón de Sinú (Duque-caro 1979, 1984).



**Figura 2.** Mapa de provincias morfo-estructurales del Caribe colombiano. TGF: Terreno Guajira-Falcón; SNSM: Sierra Nevada de Santa Marta; CSJ: San Jacinto; CS: Sinú; CG: Cuenca de La Guajira. Modificado de Cediel *et al.* (2003).

El cinturón del Sinú se extiende al occidente de la Falla Sinú por aproximadamente 500 km con una amplitud de 125 km. Está compuesto por secuencias de rocas sedimentarias que abarcan desde el Eoceno medio hasta el Oligoceno tardío (entre 48 y 23 Ma) (Ingeominas, 2003) y su principal característica es la actividad diapírica (Duque-Caro 1994). Para este cinturón se han descrito “masas cónicas de lodo” dentro de las cuales se forman volcanes de lodo en el sector terrestre y “masas de lodo” que emergen como domos aislados en la plataforma y en la zona continental hasta los 50 m.s.n.m. principalmente a lo largo de las zonas mayores de falla. Los volcanes de lodo emergidos como Cañaverales, El Totumo en el sector de Cartagena-Barranquilla, Arboletes y punta Canoas en el margen costero, y las colinas en el fondo marino frente al delta de río Magdalena, son ejemplos de estas “masas cónicas de lodo” (Shepard 1973, Duque-Caro 1984). El fenómeno diapírico se encuentra estrechamente ligado a la sedimentación y actividad tectónica del prisma de acreción del Caribe colombiano (Vernette y Klingebiel 1988).

## GEOMORFOLOGÍA Y FACIES SEDIMENTARIAS

La plataforma y talud continental corresponden a uno de los ambientes más dinámicos de la Tierra, registrando gran cantidad de información sobre los procesos ambientales (Nittrouer *et al.* 2007). En una escala de tiempo de cientos de miles de años, a medida que el nivel del mar asciende y desciende las plataformas son inundadas y expuestas, y los taludes cambian de ser zonas con déficit de sedimento a ser recipientes para todo el sedimento fluvial (Nittrouer *et al.* 2007). El límite entre la plataforma y el talud (borde de la plataforma) representa una transición ambiental y fisiográfica dominante en la Tierra. La transferencia de sedimentos a

través de este límite es de especial interés debido a que las partículas de cada lado experimentan procesos diferentes (Nittrouer *et al.* 2007).

La plataforma continental del Caribe colombiano se extiende por más de 1100 km entre el golfo de Urabá y la península de La Guajira, estando limitada de manera general por la cota batimétrica de -200 m; su amplitud varía desde valores mínimos en cercanías a la ciudad de Santa Marta hasta superiores a 50 km en la zona del golfo de Morrosquillo (López 2005). El talud continental está limitado entre las cotas batimétricas de -200 m y -3500 m, con una amplitud inferior a 100 km; este rasgo presenta la forma de un gran arco que cambia de orientación norte-nororiente en su esquina surocciden-

tal a una tendencia oriente-nororiente en el sector norte (López 2005). Este talud limita una extensa planicie abisal denominada cuenca de Colombia, la cual ocupa el sector suroccidental de la placa Caribe. Esta zona presenta profundidades que varían entre -3500 m y -4000 m, y está limitada al oriente por la Dorsal de Beata, al noroccidente por el escarpe de Hess, al occidente por el arco de Panamá y al sur por el talud continental del Caribe colombiano (López 2005). Tanto la plataforma como el talud están constituidos por sedimentos acumulados durante el Pleistoceno-Holoceno (<2,6 Ma) que cubren capas sedimentarias altamente deformadas del Mioceno-Plioceno (entre 26 y 2,6 Ma) (Verneet *et al.* 1992); estos sedimentos cuaternarios pueden alcanzar hasta 4000 m de espesor como se ha registrado en algunos pozos al norte de Cartagena (Duque-Caro 1984, Verneet 1985).

Debido a la heterogeneidad de la información batimétrica y sedimentológica disponible para la plataforma y talud continental, y con el objetivo de presentar una descripción general de su geomorfología y cobertura sedimentaria superficial, la región del Caribe colombiano fue dividida en cuatro sectores con características morfológicas y sedimentológicas similares: La Guajira, Tayrona, Delta del Magdalena y Sinú (Figura 3).

### LA GUAJIRA

#### Características geomorfológicas

La plataforma continental de La Guajira presenta amplitudes entre 8 y 17 km, finalizando entre los -90 y -130 m de profundidad donde su declive aumenta paulatinamente constituyendo el talud continental (Cuignon 1987). La clasificación más usada para esta plataforma es la realizada por Javelaud (1987), el cual la dividió desde la desembocadura del río Mendiaguca (frente a la Sierra Nevada de Santa Marta) hasta el norte del Cabo de la Vela en tres sectores morfológicos diferentes:

- El primer sector, ubicado al occidente, corresponde a una plataforma estrecha asociada al macizo montañoso de la Sierra Nevada de Santa Marta que se va ampliando hacia el oriente. En este sector, la plataforma presenta una pendiente general de 1° y una amplitud que varía entre los 13,8 y 14,5 km; su límite exterior está definido claramente entre las isóbatas de -130 y -150 m, donde comienza a diferenciarse un talud de fuerte pendiente (7° en promedio), cuya base se encuentra a los -230 m de profundidad (Rangel 2009). En su parte más estrecha (zona de acantilados de Los Muchachitos en los límites de los departamentos del Magdalena y La Guajira) se insinúa a los -20 m de profundidad un lineamiento topográfico de tendencia oriente-occidente que coincide con cubetas submarinas y que podría ser la prolongación submarina de una falla geológica cubierta en tierra que se extiende por el piedemonte norte de la Sierra Nevada de Santa Marta, entre el río Buritaca y la desembocadura del río Don Diego (Rangel 2009). Adicionalmente, al frente de los municipios de Palomino y Mingueo la tendencia general de las isóbatas muestran irregularidades importantes en el fondo, donde a profundidades de -5 m y -15 m se definen concavidades y convexidades de primer orden que sugieren relieves positivos y canales.

- El segundo sector corresponde a un área intermedia o de transición en la región de Riohacha que a los -100 m de profundidad exhibe rasgos contrastantes como el cañón del río Ranchería y el valle de La Guajira. Krause (1971) considera que este cañón submarino se formó por corrientes de turbidez o por un descenso en el nivel del mar seguido por un proceso de erosión subárea, lo cual indicaría la presencia de una gran cuenca de transporte y deposición. Este mismo autor sugiere que el río Ranchería pudo ser la fuente de grandes volúmenes de sedimento durante el Pleistoceno (entre 2,6 y 0,01 Ma) los cuales fueron depositados en el talud continental. Este fenómeno se sigue presentando en la actualidad donde, a pesar de los bajos caudales y carga del río (14-28 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>), los sedimentos transportados por el río Ranchería son llevados a través del cañón hacia afuera

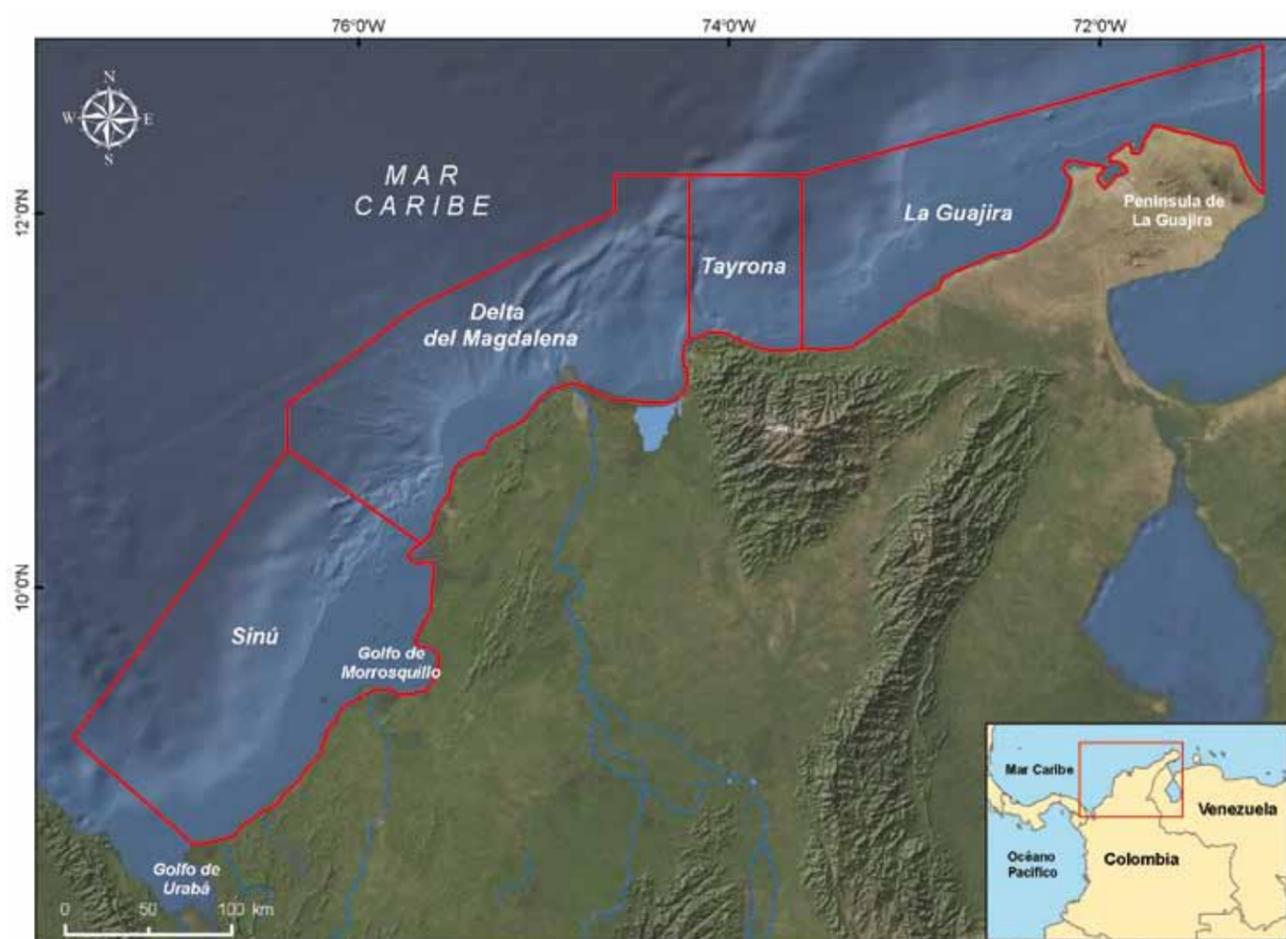


Figura 3. Mapa de localización de los 4 sectores descritos del margen continental y fondos oceánicos del Caribe colombiano.

de la plataforma para ser depositados directamente en el talud continental.

- El tercer sector se asocia a una plataforma continental amplia bien desarrollada. Los valores de pendiente entre Riohacha y el cabo de La Vela permiten diferenciar un dominio externo de pendiente inferior a 1° que se extiende entre las isóbatas de -50 y -100 m, y un dominio interno, entre 0 y -40 m, con un declive inferior a 2° y una ruptura de pendiente entre -40 y -50 m que marca un escarpe de inclinación superior a 7°.

### Facies sedimentarias

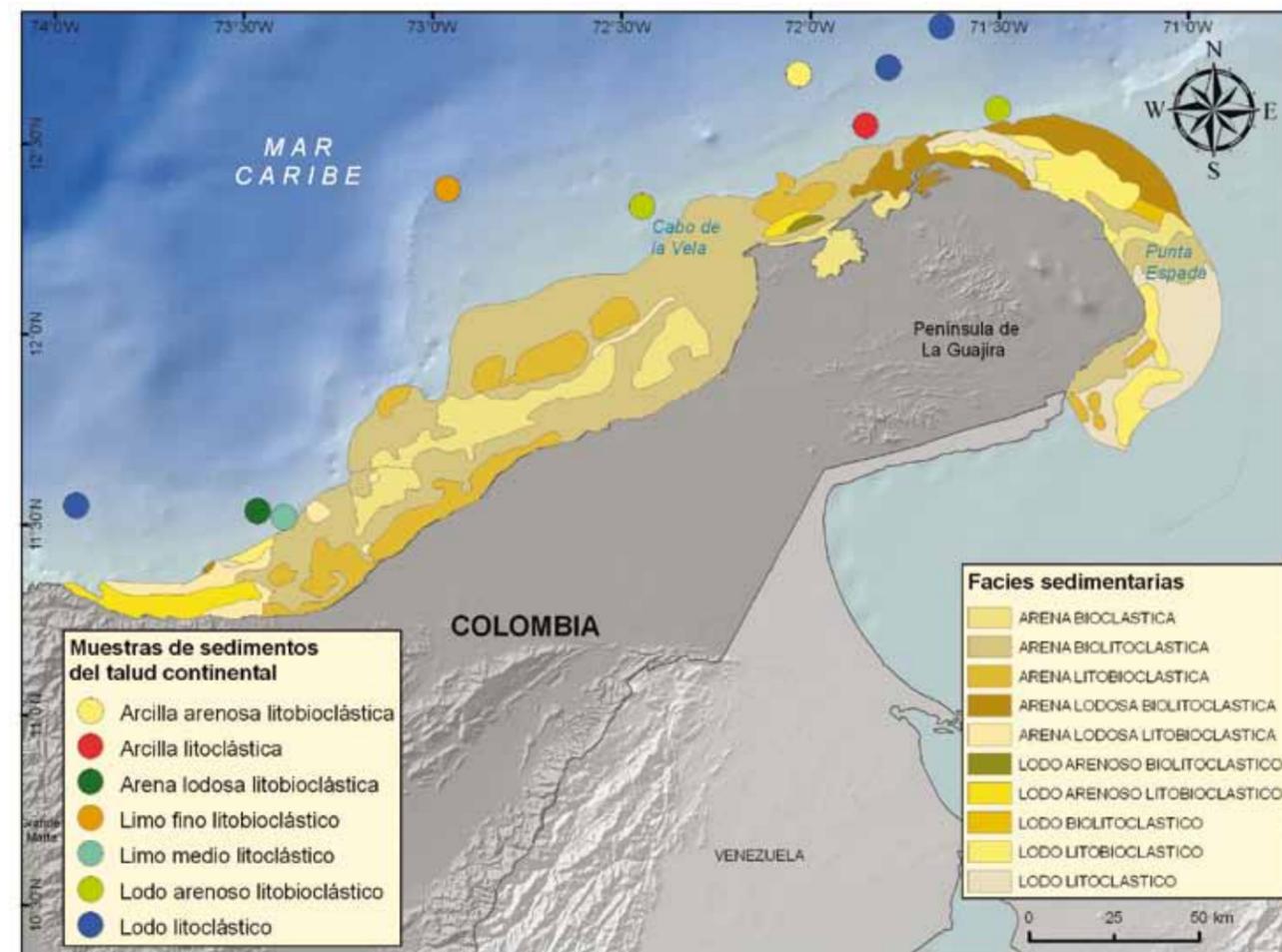
Las cinco facies sedimentarias definidas por la cartografía geológica en la plataforma continental de La Guajira son (Javelaud 1987):

- Tres facies predominantemente orgánicas: arenas biogénicas, arenas carbonatadas y arenas lodosas carbonatadas.
- Dos facies detríticas de poca extensión: lodos y arenas terrígenas.

Los sedimentos de la plataforma continental de La Guajira generalmente presentan altos contenidos de carbonatos, estando los depósitos netamente terrígenos restringidos a una franja costera estrecha en los alrededores de la Sierra Nevada de Santa Marta (Figura 4). Según la carta de repartición de facies sedimentarias del CIOH (1999), entre el sector de Las Lagunas y Puerto Bolívar se encuentra una fracción compuesta casi exclusivamente de carbonatos (arena bioclástica con contenido superior a 90%) que constituye una banda alargada suroccidente-nororiente entre las isóbatas de -10 m y -50 m aproximadamente, mientras que en bahía Portete y bahía Honda estas arenas bioclásticas están limitadas por la isóbata de -15 m aproximadamente. Las arenas biolitoclásticas (contenido de  $\text{CaCO}_3$  entre 50%

y 85%) se encuentran rodeando los sedimentos bioclásticos hasta el sector de bahía Honda y como pequeños parches aislados entre punta Gallinas y Puerto López, mientras que las arenas litobioclásticas (contenido de  $\text{CaCO}_3$  entre 15% y 50%) se encuentran formando una franja paralela a la costa entre los sectores de Manaure (al norte) donde no sobrepasa la isóbata de -10 m y Dibulla (al sur) donde penetran hasta la isóbata de -50 m aproximadamente; adicionalmente, algunos parches de arenas y lodos litobioclásticos se presentan al frente de la costa de Manaure entre las isóbatas de -50 m y -100 m y al suroriente de punta Gallinas respectivamente. Según Javelaud (1987), el origen biológico de estos depósitos carbonatados está demostrado por la abundancia de componentes biogénicos donde los elementos predominantes son los fragmentos de algas calcáreas.

Desde el punto de vista granulométrico, los depósitos sedimentarios superficiales de la plataforma de La Guajira son predominantemente arenosos. Como se observa en la carta de repartición de facies sedimentarias del CIOH (1999), las arenas recubren la totalidad de la plataforma al oriente del meridiano 73°30', en inmediaciones del corregimiento de Palomino; al occidente de este sector, se presenta una facies areno-lodosa en cercanías a la Sierra Nevada de Santa Marta, mientras que al suroriente de punta Gallinas y en inmediaciones de Puerto López ocurren dos franjas de sedimentos lodosos, dentro de las cuales se observan algunos parches de sedimentación arenosa (Figura 4). Javelaud (1987) realizó dos perfiles granulométricos al frente de Riohacha hasta la isóbata de -100 m. De acuerdo a estos perfiles, dos zonas de granulometría gruesa (arena gruesa, tamaño de partícula mayor a 500  $\mu\text{m}$ ) se presentan entre las isóbatas de -30 m y -50 m en un perfil, mientras en el otro se presenta entre las isóbatas de -70 m y -100 m; en una zona intermedia, entre -50 m y -70 m, las arenas finas y muy finas (tamaño de partícula entre 62.5  $\mu\text{m}$  y 250  $\mu\text{m}$ ) representan entre el 60% y 90% de los sedimentos de la superficie.



**Figura 4.** Mapa de distribución de facies sedimentarias para la plataforma continental de los sectores de La Guajira y Tayrona (modificado de CIOH, 1999). Se incluye la localización y clasificación de las muestras sedimentológicas recolectadas en el talud continental en los proyectos ANH I y II.

Con base en lo anterior, Javelaud (1987) definió tres facies dinámicas para la plataforma continental de La Guajira:

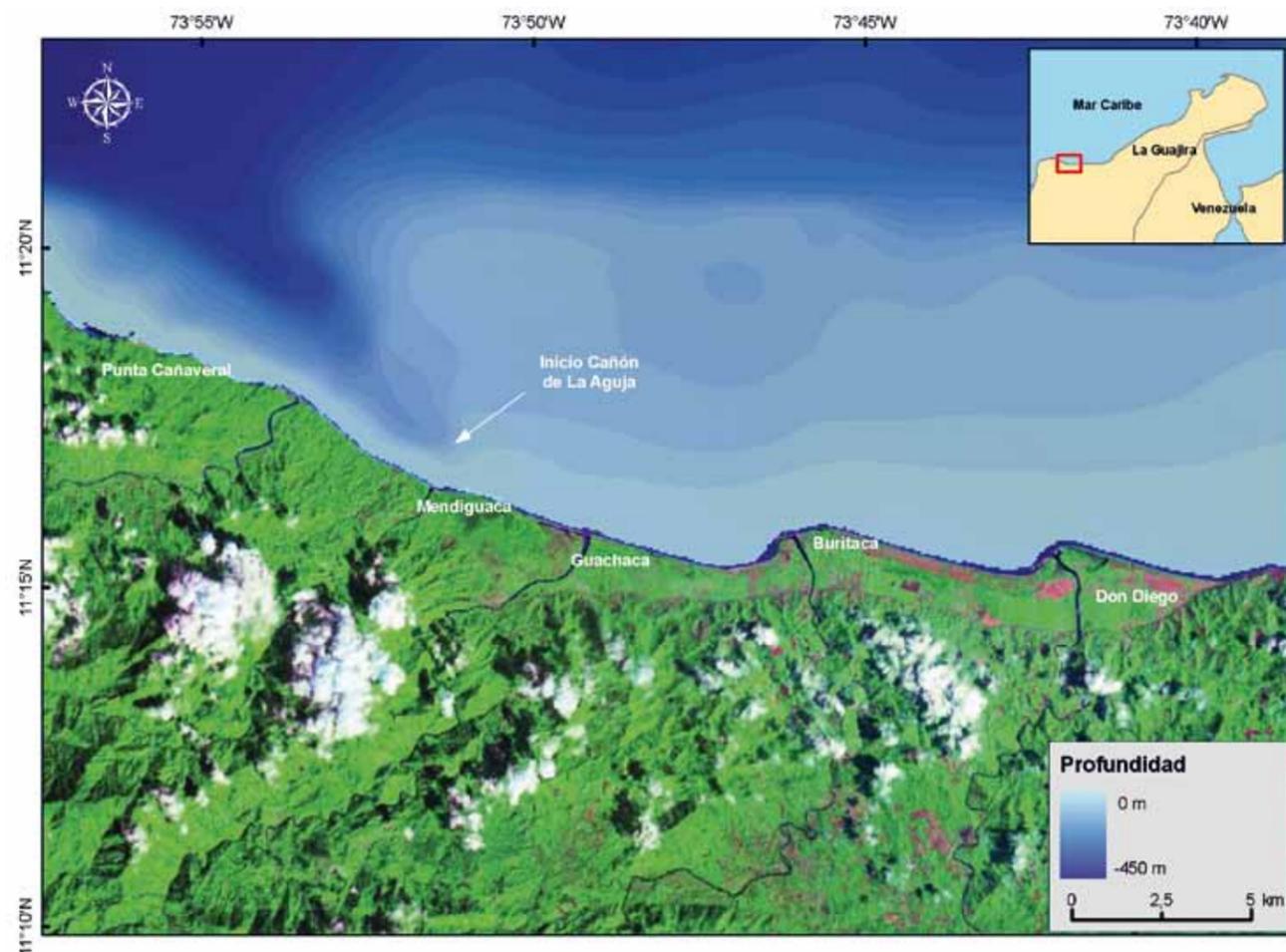
En la plataforma externa:

- Una facies de alta energía caracterizada por una sedimentación gruesa bioclástica que aparece como remanentes en torno a la plataforma entre las isóbatas de -75 m y -100 m.
- Una facies de energía intermedia representada por arenas biodetríticas finas a muy finas con contenido de algunos granos de cuarzo.

En la plataforma interna:

- Una facies de energía intermedia a alta constituida por fragmentos de bioclastos producto de la disgregación de algas calcáreas.

En el talud continental se cuenta con nueve muestras sedimentológicas (correspondientes a los proyectos ANH I y II) que se distribuyen entre las isóbatas de -280 m y -900 m (Figura 4). Los sedimentos son de tamaño de grano fino, variando entre arcilla y lodo arenoso. Cinco de las muestras recolectadas corresponden a sedimentos litobioclásticos con contenidos de carbonato



**Figura 5.** Mapa batimétrico del sector entre Don Diego y el cabo San Agustín. La plataforma continental disminuye su amplitud después del inicio del cañón de La Aguja hasta quedar prácticamente ausente.

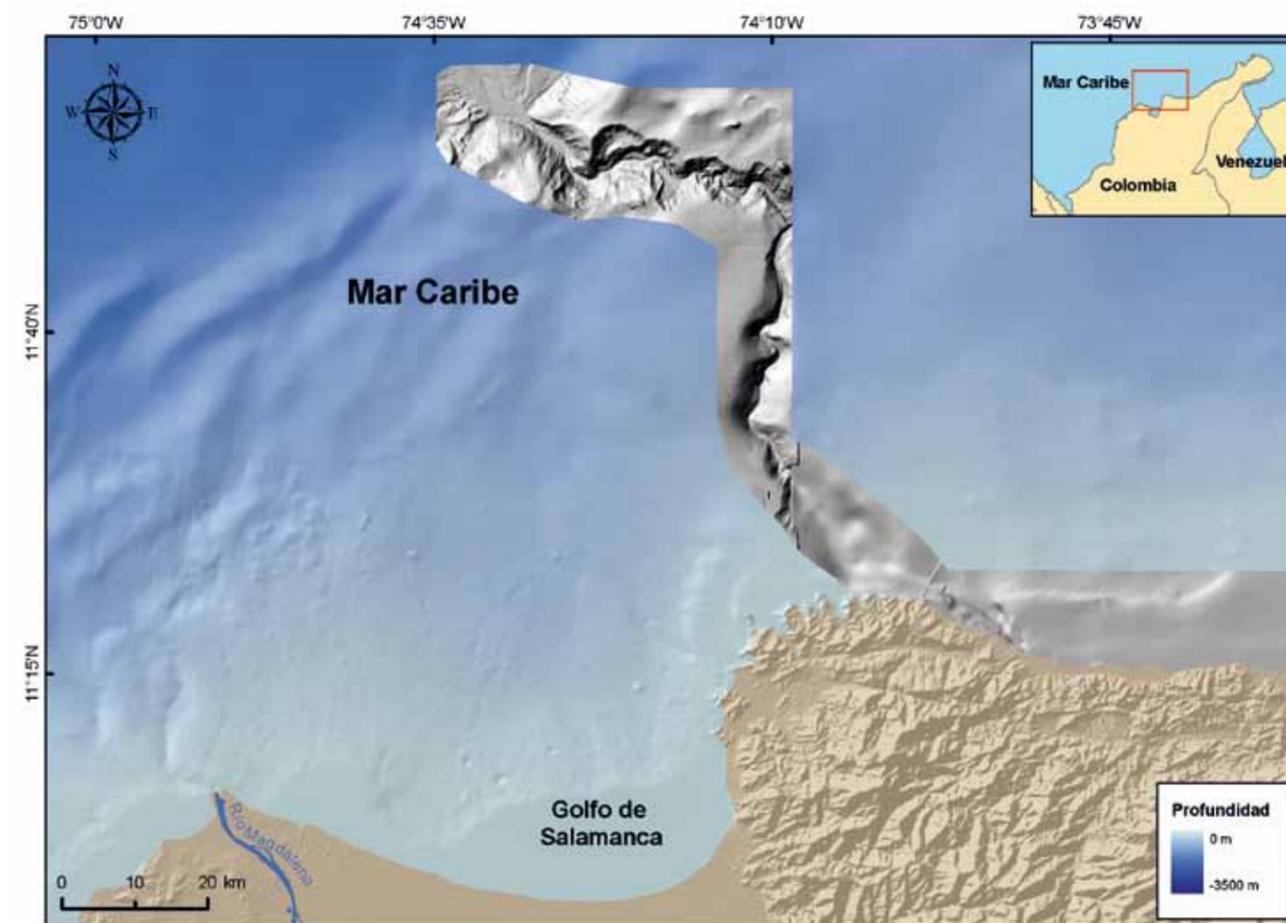
de calcio entre 20% y 46%, mientras que las otras cuatro muestras corresponden a sedimentos litoclásticos con contenido de carbonatos entre 10% y 14%, muy cerca al valor límite (15%) con los sedimentos litobioclásticos. El contenido de materia orgánica de estos sedimentos varía entre 7,9% y 18,8%.

## TAYRONA

### Características geomorfológicas

La morfología submarina de este sector refleja una fuerte pendiente del fondo que se traduce en la inexistencia de una verdadera plataforma continental (Figura 5).

Autores como Acosta y Díaz (1990), Molina *et al.* (1998) y Rangel (2009) consideran que se trata de un talud que se inicia muy cerca de la línea de costa con una inclinación variable de acuerdo al sector. Su mayor pendiente se encuentra cerca de la isla de La Aguja, donde la isobata de -100 m se encuentra a sólo 300 a 350 m al norte de esta (Acosta y Díaz 1990). La información batimétrica disponible permite detallar que entre punta Chengue y punta Palmarito las isóbatas hasta los -100 m se orientan casi paralelas a la línea de costa y tienden a estrecharse generando pendientes del orden de los 2° frente a punta Chengue, 5° en punta Nenguanje, 8° frente a punta Guachaquita y 14° en punta Palmarito. A partir de punta Guachaquita se observan modificaciones en



**Figura 6.** Mapa batimétrico del cañón de La Aguja. Nótese las tres secciones del cañón cada una con orientación diferente y las constantes variaciones en su amplitud.

las tendencias antes descritas que se manifiestan con gradientes batimétricos más pronunciados en diversas direcciones como consecuencia de la presencia de estrechos valles y cañones orientados perpendicularmente o transversalmente a la costa, y cuya expresión batimétrica se revela por debajo de los -50 m de profundidad (Acosta y Díaz 1990).

Hacia el oriente, dentro del sector Arrecifes-Cañaveral, se encuentra un pronunciado talud con una pendiente promedio de 18°. Este pronunciado relieve, junto a la presencia de valles transversales, guarda relación con el eje central del denominado cañón de La Aguja (Shepard 1973). Este rasgo se extiende desde los -70 m al frente del río Mendihuaca por aproximadamente 100 km hasta

alcanzar una profundidad de -3500 m; sus rasgos morfológicos permiten dividirlo en tres segmentos (Figura 6):

- El primer segmento con tendencia noroccidente-occidente correspondiente a la parte más somera que va desde la plataforma hasta los -1000 m de profundidad, cuya formación estaría estrechamente ligada a la actividad tectónica de la Falla de Oca (Shepard 1973, Ordóñez 2006, Rangel 2009).
- El segundo segmento de tendencia norte-sur se extiende desde los -1000 m hasta los -2000 m y está caracterizado por meandros fuertemente desarrollados y profundos.

• El tercer segmento con tendencia oriente-occidente se extiende hasta los -3500 m con meandros que dan forma a valles amplios. Las variaciones en la amplitud de este cañón son producto de los procesos de erosión regresiva de los escarpes por los múltiples deslizamientos de porciones significativas del terreno. Esto se evidencia por la presencia de múltiples cicatrices semicirculares (coronas de deslizamientos) a lo largo de esta geoforma.

Al nororiente del cañón de La Aguja se encuentran las colinas de Nenguanje y el espolón de Santa Marta cuyas longitudes son de 46 km aproximadamente. Las colinas de Nenguanje son rasgos batimétricos que alcanzan 1400 m de altura por encima del fondo oceánico a -2000 m de profundidad. El espolón de Santa Marta se encuentra más cerca de la plataforma y corresponde a una elevación uniforme con profundidades entre los -1000 m y -1500 m.

Adicionalmente, a lo largo de esta zona se observan depósitos de movimientos en masa en formas de montículo que suprayacen algunas laderas de colinas alargadas. Por otro lado, se presentan también numerosos domos circulares que alcanzan hasta 2 km de diámetro y se elevan hasta 200 m por encima del fondo marino posiblemente asociados con diapiros de lodo.

### Facies sedimentarias

Como se describió anteriormente, este sector se caracteriza por la presencia de una plataforma continental muy estrecha. Según la carta de repartición de facies sedimentarias del CIOH (1999), en la parte más interna de la plataforma se presenta una franja de sedimentación lodosa litobioclástica (contenido de  $\text{CaCO}_3$  entre 15% y 50%) hasta la isóbata de -70 m en la parte oriental y hasta la de -200 m en la parte occidental; en su parte externa se presenta una franja de arenas lodosas litobioclásticas en el sector más oriental entre las isóbatas de -70 m y -200 m (Figura 4). Una pequeña franja de se-

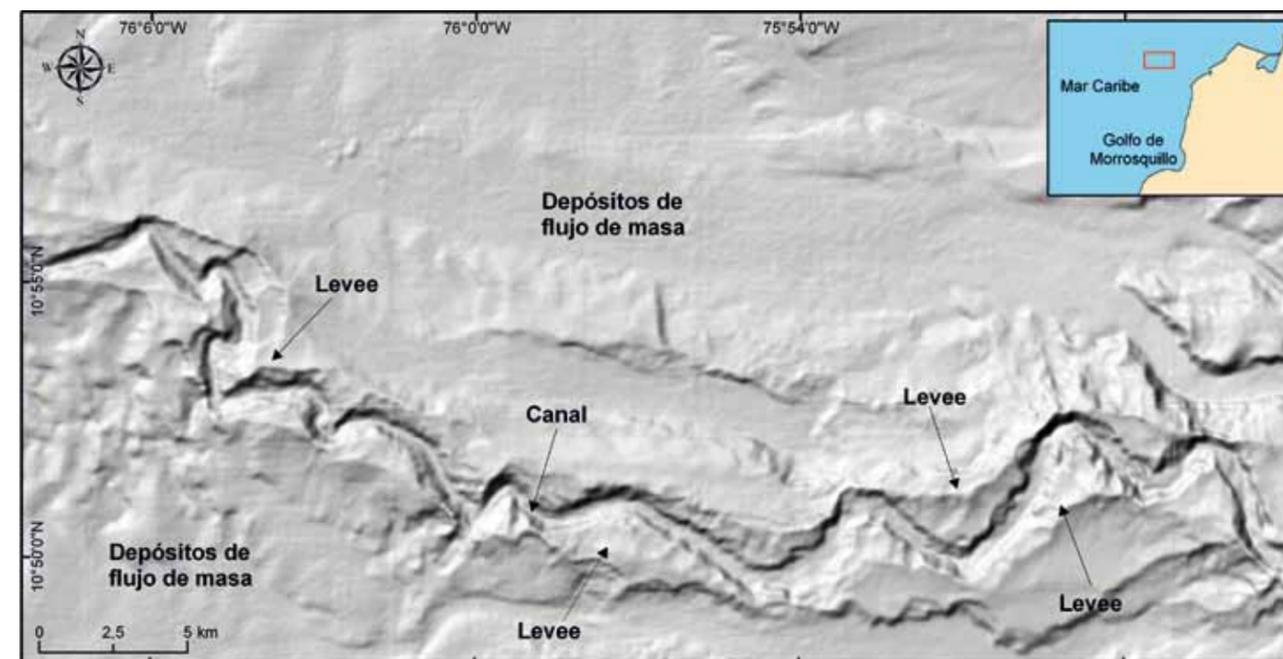
dimentación litoclástica (contenido de  $\text{CaCO}_3$  menor al 15%) se restringe al extremo más occidental hasta una profundidad de -50 m (Figura 4). En el talud continental se tiene una muestra recolectada durante el proyecto ANH II (Figura 4), la cual corresponde a un lodo litoclástico con contenido de  $\text{CaCO}_3$  del 4,5% y de materia orgánica del 14,4%.

## DELTA DEL MAGDALENA

### Características geomorfológicas

Este sector corresponde a un sistema turbidítico de gran espesor que se ha originado debido a la acumulación de los sedimentos drenados por el río Magdalena (promedio  $5000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  según datos de Kolla *et al.* 1984, Kolla y Buffler 1985, Pujos y Javelaud 1991). El desarrollo de este delta comenzó en el Plioceno medio (entre 3,6 y 2,6 Ma) formando una cuña sedimentaria que en la actualidad tiene una longitud de 230 km, un área de  $53000 \text{ km}^2$  y un volumen de  $180000 \text{ km}^3$ , extendiéndose hasta aproximadamente los -4000 m de profundidad (Kolla *et al.* 1984, Kolla y Buffler 1985, Wetzel 1993, Reading y Richards 1994, Ercilla *et al.* 2002).

Debido al gran tamaño de la llanura deltaica del río Magdalena la plataforma continental adyacente puede considerarse como estrecha con valores de aproximadamente 2 km de ancho, por lo cual gran parte de los sedimentos descargados por esta corriente fluvial son depositados de forma directa sobre el talud continental (Ercilla *et al.* 2002). La plataforma continental es moldeada por diversos cañones submarinos e incisiones que reflejan las principales direcciones de flujo (vías de transporte) del material sedimentario dentro del sistema (Kolla *et al.* 1984, Vernet *et al.* 1992). La parte superior del talud continental se extiende hasta los -3300 m de profundidad aproximadamente y exhibe múltiples rupturas a lo largo de la pendiente, cuyos gradientes decrecen desde los  $4^\circ$  hasta los  $0,5^\circ$ . La parte inferior del talud



**Figura 7.** Mapa batimétrico que muestra en detalle las direcciones de flujo encontradas en el delta del Magdalena, en este caso al frente del municipio de Galerazamba (Bolívar) donde presentan una tendencia general al occidente.

se extiende hasta una profundidad superior a -3700 m, con pendientes que varían entre  $0,5^\circ$  y  $0,3^\circ$ .

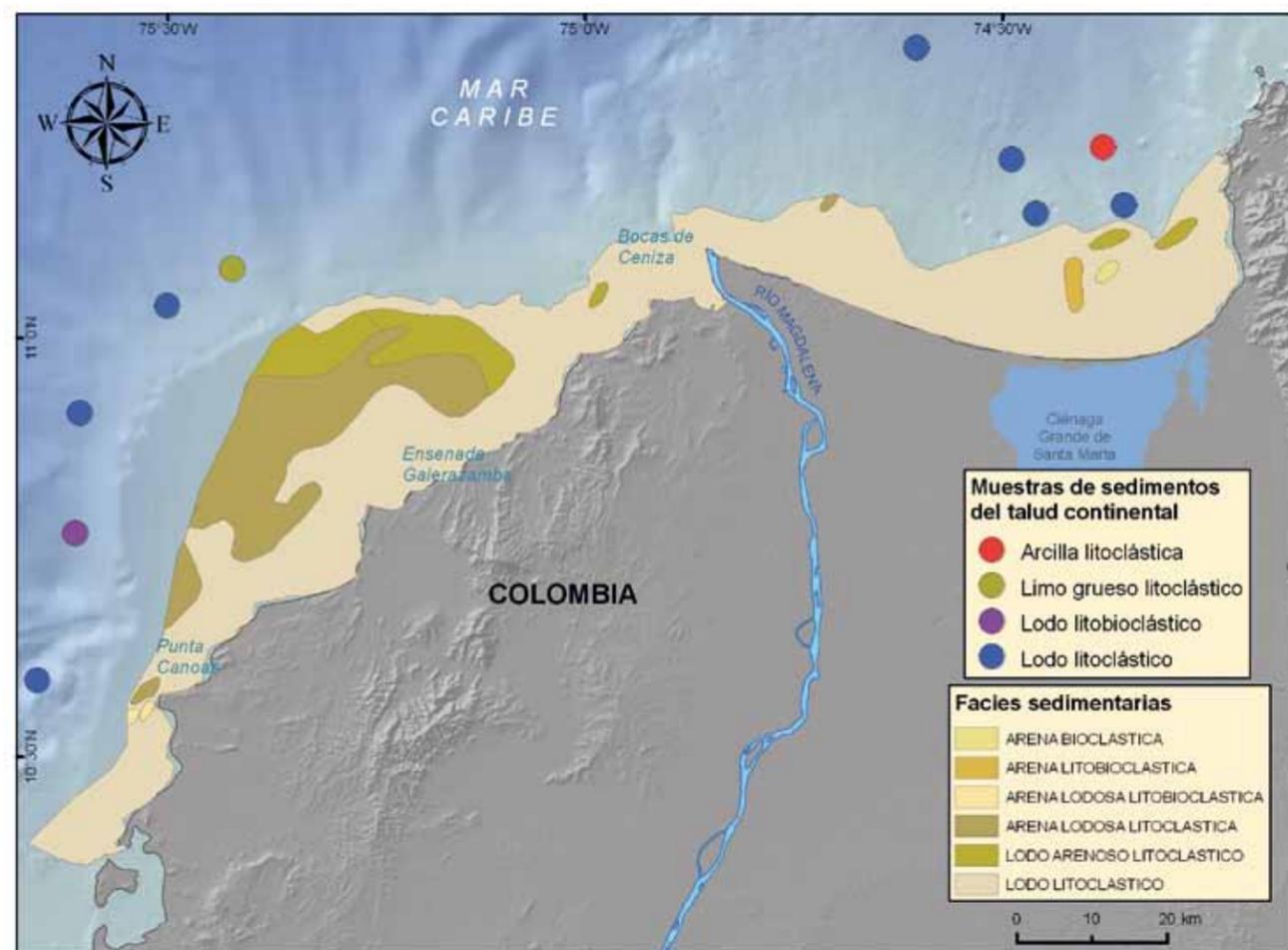
Dentro de esta área la geomorfología del fondo está representada por *leeves* (diques), canales, cañones, altos estructurales, depósitos de flujos de masa y zonas escarpadas (Figura 7). En esta zona, por ser la parte frontal del delta actual, se presenta un alto dinamismo e inestabilidad, de tal manera que todos los sedimentos, en su mayoría de origen terrígeno, están sujetos a constante movimiento; este fenómeno dispara la caída de este material sedimentario hacia profundidades mayores permitiendo e iniciando el desarrollo de corrientes de turbidez las cuales tienen energía suficiente para modificar rápidamente la morfología submarina (Shepard *et al.* 1968, Shepard 1973).

Hacia la zona central del delta la morfología de canales que predomina hasta una profundidad de -2000 m se combina con colinas de tendencia al suroccidente-nororiente. Los canales son producto de la sedimentación

reciente de los sistemas fluviales del piedemonte occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta y los ríos asociados a la Ciénaga Grande de Santa Marta. Las colinas corresponden a altos estructurales con escarpes y relieves positivos que alcanzan hasta 1600 m por encima del fondo oceánico. Dentro de estas colinas estructurales se encuentran tres altos de dirección subparalela con longitudes que oscilan entre los 30 y 100 km. Estas tienen laderas fuertemente inclinadas ( $15^\circ$ - $20^\circ$ ) que se caracterizan por una superficie irregular con formas convexas y cóncavas. Las colinas estructurales limitan corredores alargados de amplitudes entre 3 y 5 km y cuencas semicirculares de hasta 8 km de ancho (Ercilla *et al.* 2002).

### Facies sedimentarias

Durante el Plio-Cuaternario ( $<5,3 \text{ Ma}$ ) el río Magdalena ha construido numerosos cuerpos deltaicos (Bordyne 1974), lo cual permite diferenciar tres sectores fisiográficos diferentes (Javelaud 1987):



**Figura 8.** Mapa de distribución de facies sedimentarias para la plataforma continental del sector del delta del Magdalena (modificado de CIOH, 1999). Se incluye la localización y clasificación de las muestras sedimentológicas recolectadas en el talud continental en los proyectos ANH I y II.

- El delta actual del Magdalena, donde la mayoría de los aportes sólidos del río son arrojados directamente a un cañón de fuerte pendiente (superior a 30%) que se extiende hasta la zona abisal.
- La cuña sedimentaria de Galerazamba, que corresponde a un paleodelta del río Magdalena activo durante el Plioceno (entre 5,3 y 2,56 Ma), compuesto por arenas finas cuarzosas y algunas gravas siliciclásticas (Vermette 1985).
- La parte oriental del delta, entre Bocas de Ceniza y Santa Marta, donde se extiende una plataforma somera abierta a la influencia de las olas y recubierta por sedimentos predominantemente lodosos.

En la plataforma continental asociada al delta del Magdalena predominan los sedimentos detríticos de textura lodosa a areno-lodosa (Figura 8).

Como se observa en la carta de repartición de facies sedimentarias del CIOH (1999), la facies más común es la de lodos litoclásticos (contenido de carbonatos inferior a 15%), la cual se extiende como una franja de amplitud variable semiparalela a la costa; esta franja de sedimentos detríticos presenta su mayor amplitud al frente de la Ciénaga Grande de Santa Marta (aproximadamente 18 km) y la menor en el sector de la desembocadura del río Magdalena y de la ciudad de Cartagena (entre 2 y 6 km). En la parte central de la plataforma al frente de la Ciénaga

Grande de Santa Marta, hacia las isóbatas de -20 m y -30 m, se presenta un parche de arenas litobioclásticas y bioclásticas compuestas por fragmentos de corales, esponjas, algas, briozoos, poliquetos y balánidos conocido como el Banco de las Ánimas (Blanco *et al.* 1994). Por otro lado, en el sector de Galerazamba se presenta un sector de arenas lodosas litoclásticas entre las isóbatas de -30 m y -50 m y de lodos arenosos litoclásticos entre las isóbatas de -50 m y -100 m. Tanto en el sector de la Ciénaga Grande de Santa Marta como de Galerazamba la cartografía de las diferentes facies sedimentarias insinúan formas lobulares, las cuales pueden ser interpretadas como construcciones de antiguos deltas del río Magdalena.

Las muestras sedimentarias disponibles del talud continental para la zona del delta del Magdalena (correspondientes a los proyectos ANH I y ANH II) se distribuyen entre las isóbatas de -250 y -850 m (Figura 8). Dichas muestras insinúan una sedimentación fina en este sector, variando los tamaños de grano entre arcilla y limo grueso. Los sedimentos son de carácter litoclástico con contenido de  $\text{CaCO}_3$  entre 0,6% y 10,6%, y de materia orgánica entre 5,8% y 14,8%.

## SINÚ

### Características geomorfológicas

Los trabajos realizados por Restrepo (2006) y Restrepo *et al.* (2007) describen una plataforma somera que en sus primeros 10 m de profundidad cuenta con un ancho variable (entre 2 y 8 km), caracterizada por la presencia de relieves positivos, escarpes, antiformalas, canales enterrados y posibles zonas de emanación de fluidos.

La información batimétrica disponible para esta parte de la plataforma (hasta -10 m de profundidad) muestra un agrupamiento de isolíneas al norte que estaría reflejando la presencia de zonas de acumulación de sedimentos asociadas a la desembocadura del río Sinú, cuando este aún presentaba su delta en la actual bahía de Cispatá (Robertson y Chaparro 1998).

Restrepo (2006) determinó para este tramo de la plataforma variaciones significativas en su ancho, encontrándose valores de 650 m en la zona cercana a punta Mestizos y 3 km cerca de la denominada Boca Bahía; de igual forma estableció cambios en la zona aledaña al delta de Tinajones donde el ancho de la plataforma varía entre 2,3 km y 4,2 km. Hacia el sur el patrón de distribución de las isóbatas refleja una plataforma amplia que se va intercalando con tramos de plataforma más estrecha, encontrándose zonas donde los -10 m de profundidad se presentan a una distancia de 8 km desde la costa. Dentro de esta plataforma las pendientes pueden considerarse como suaves (valores entre  $1^\circ$  y  $2^\circ$ ), con algunos incrementos puntuales asociados principalmente a zonas de puntas o salientes rocosas muy cercanas a la línea de costa (Mazorra 2004, Rangel 2004, Restrepo 2006).

La plataforma continental se extiende hasta los -150 m de profundidad, a partir de donde las variaciones batimétricas se prolongan hasta los -3100 m. Las zonas más someras se encuentran hacia el suroriente, mientras que las zonas más profundas se localizan hacia el noroccidente dentro de la llanura abisal. De manera general se puede afirmar que los valores de profundidad van aumentando desde el oriente hacia el occidente encontrándose variaciones “anómalas” asociadas a zonas de crestas de anticlinales y a zonas de drenajes pertenecientes a canales por donde son transportados los sedimentos marinos.

Esta tendencia general de profundización hacia el noroccidente marca el límite aproximado entre la plataforma y el prisma de acreción del Sinú (Toto y Kellogg 1992, Cediel *et al.* 2003). Este prisma se ubica entre las isóbatas de -150 m y -1750 m aproximadamente, y está compuesto por formas típicas de sistemas de flujo como canales, cañones y faldas continentales, y formas estructurales como colinas, escarpes, domos y hoyos. Hacia el borde occidental la diversidad y complejidad de geoformas dan paso a una larga zona de llanura abisal plana a levemente ondulada que limita con colinas alargadas orientadas hacia el nororiente y, que en algunos sectores, originan formas erosivas como conos. La geomorfología general del prisma exhibe diferentes gradientes de pendiente que

oscilan entre los 9° y 30°. A profundidades cercanas a -3100 m los gradientes de pendiente varían entre 3° y 4° principalmente en la zona nororiental. En algunas áreas aisladas esta pendiente aumenta hasta alcanzar los 12° en los bordes de las zonas de drenaje.

Hacia los límites de la plataforma (-150 m de profundidad) la morfología de relieves positivos, escarpes y zonas de emanación de fluidos da paso a una zona donde se originan canales asociados a corrientes de turbidez. Estos canales permiten el transporte de sedimentos pen-

diente abajo hacia la falda continental que para este sector corresponde al prisma acrecionario del Sinú (Figura 9). Estos sistemas de flujo incluyen drenajes amplios con poca profundidad que se encuentran principalmente en la parte sur de la zona y canales profundos asociados a corrientes de turbidez que se encuentran en la parte central. Una característica común de estos sistemas es su fuerte control estructural, ya que hacia el sur del área la dirección de los flujos es suroriente-noroccidente, mientras que en la parte norte se presentan orientados oriente-occidente. Todos estos sistemas se originan en

la plataforma y recorren la zona hasta terminar en la llanura abisal a más de -3000 m de profundidad.

Por otro lado, la fuerte actividad tectónica dentro del área se ve manifestada con la presencia de escarpes y crestas asociadas a pliegues. Las zonas de “altos” batimétricos ocurren en las zonas axiales de los pliegues anticlinales y suelen estar orientadas sur-norte con leves variaciones hacia el oriente y el occidente dependiendo de la zona. De igual forma, y asociado a los procesos de sedimentación y/o tectónica, se presentan una serie de domos y colinas aisladas. La formación de

estas geoformas podría asociarse al fenómeno de diapirismo de lodo que es muy común en el prisma del Sinú (Figura 10).

### Facies sedimentarias

Según la carta de repartición de facies sedimentarias del CIOH (1999), en este sector de la plataforma continental del Caribe colombiano los depósitos terrígenos finos tamaño lodo dominan la sedimentación nerítica; estos ocupan la mayor parte de la zona limitándose en la parte norte (sector del golfo de Morrosquillo) a la pla-

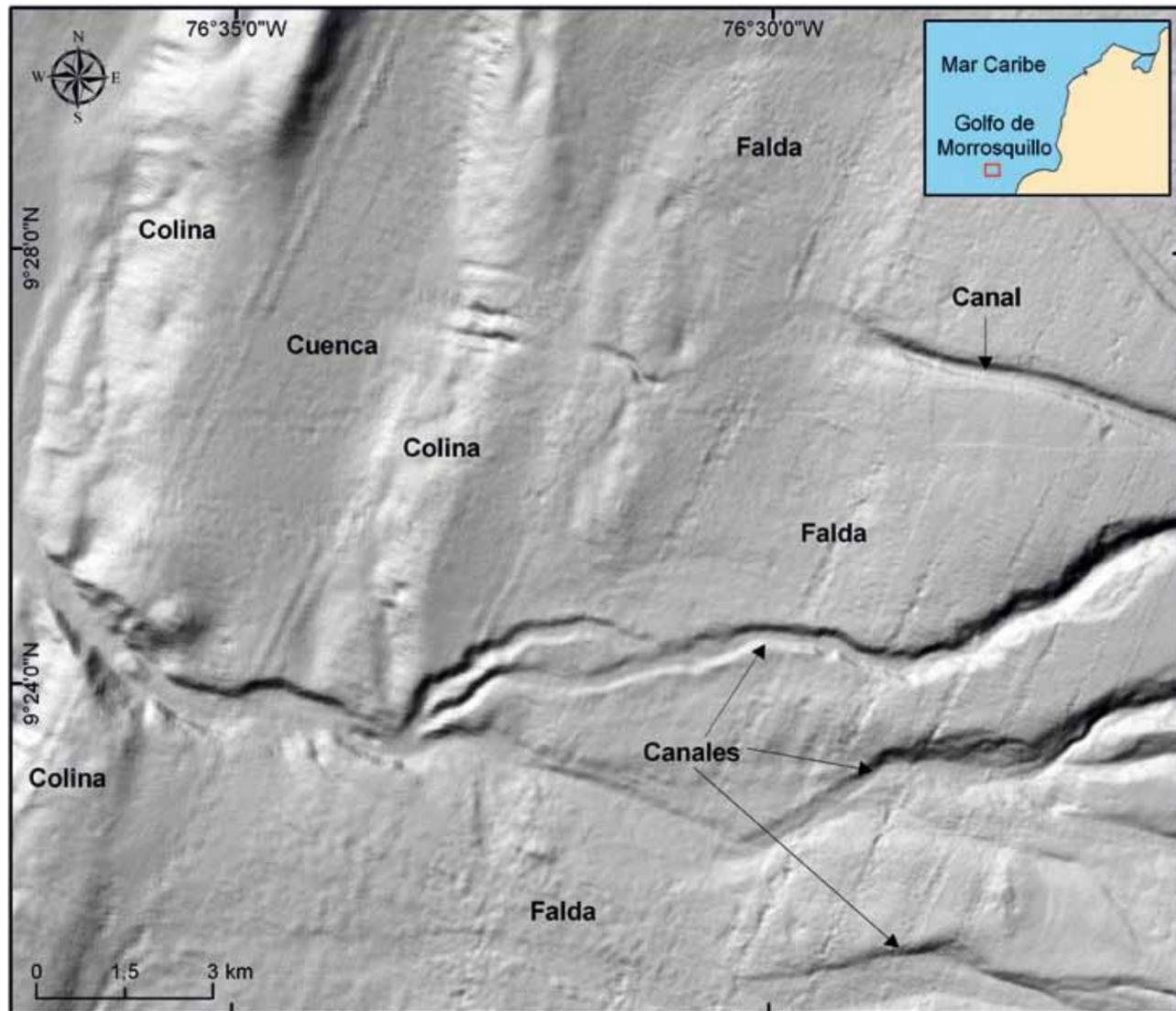


Figura 9. Mapa batimétrico que muestra las zonas de fluidos-corrientes de turbidez que marcan el límite de la plataforma con el talud continental en zona del Sinú.

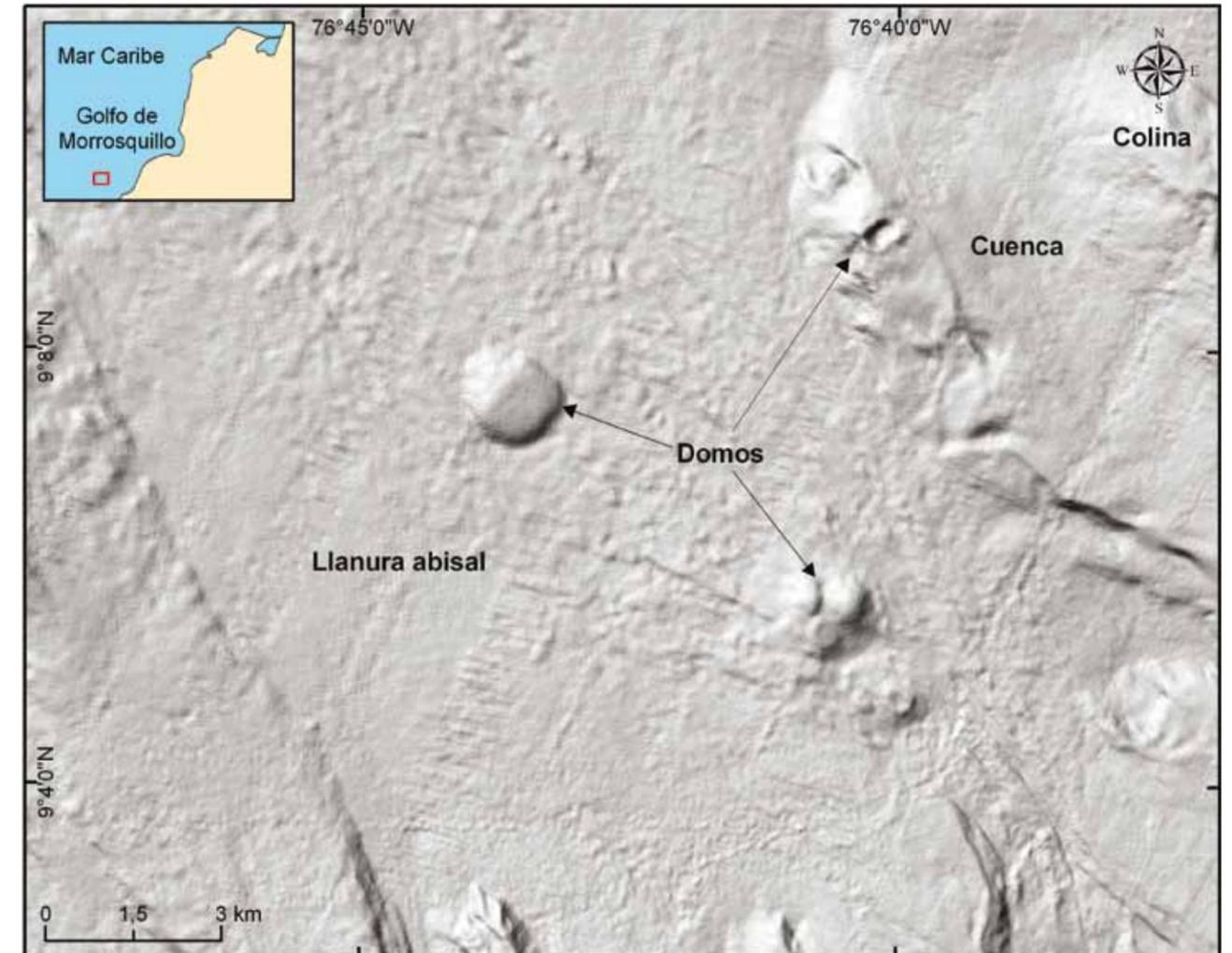
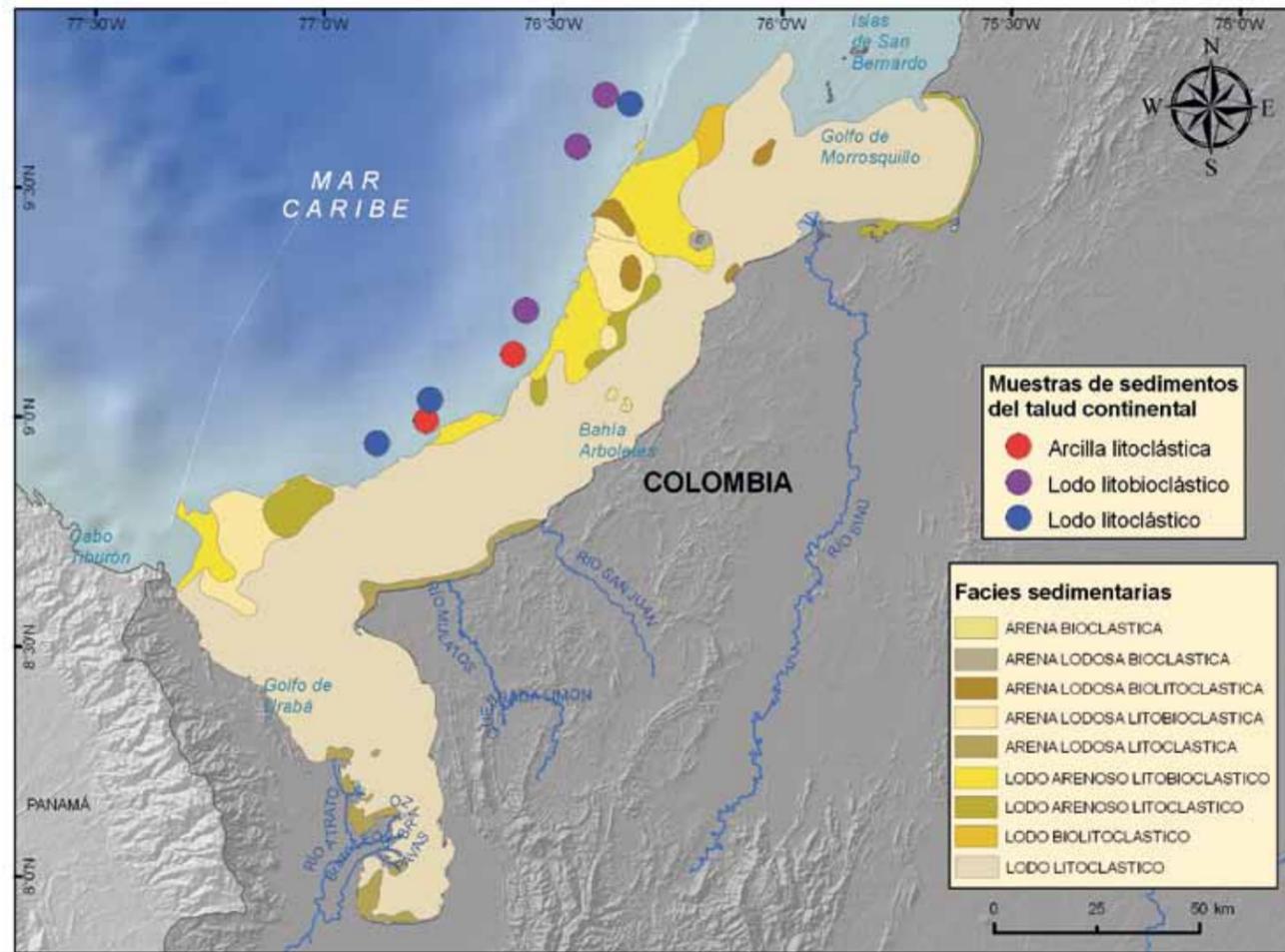


Figura 10. Ejemplos de domos relacionados al diapirismo de lodo en la zona del Sinú.



**Figura 11.** Mapa de distribución de facies sedimentarias para la plataforma continental del sector del Sinú (modificado de CIOH, 1999). Se incluye la localización y clasificación de las muestras sedimentológicas recolectadas en el talud continental en los proyectos ANH I y II.

taforma interna (isóbata de -40 m aproximadamente), aumentando su ocurrencia hacia el suroccidente donde se extienden hasta el borde de la plataforma alrededor de la isóbata de -100 m (Figura 11). La fracción arenosa calcárea está presente en el sector externo de la plataforma constituyendo una facies de mezcla; según Vernet (1985), al norte se presenta alrededor de dos bajos (paleoarrecifes) compuestos por arenas lodosas biogénicas y al sur recubren la parte occidental de la entrada del golfo de Urabá. La fracción arenosa detrítica se encuentra muy localizada disminuyendo su importancia de norte a sur: al norte forma el frente deltaico del río Sinú, en la parte central forma una franja paralela a la costa

que alcanza su mayor expresión en el sector de punta Arenas penetrando hasta la isóbata de -10 m aproximadamente, y en el sur aparece como parches aislados restringidos a la isóbata de -30 m relacionados al delta del río Atrato (Figura 11).

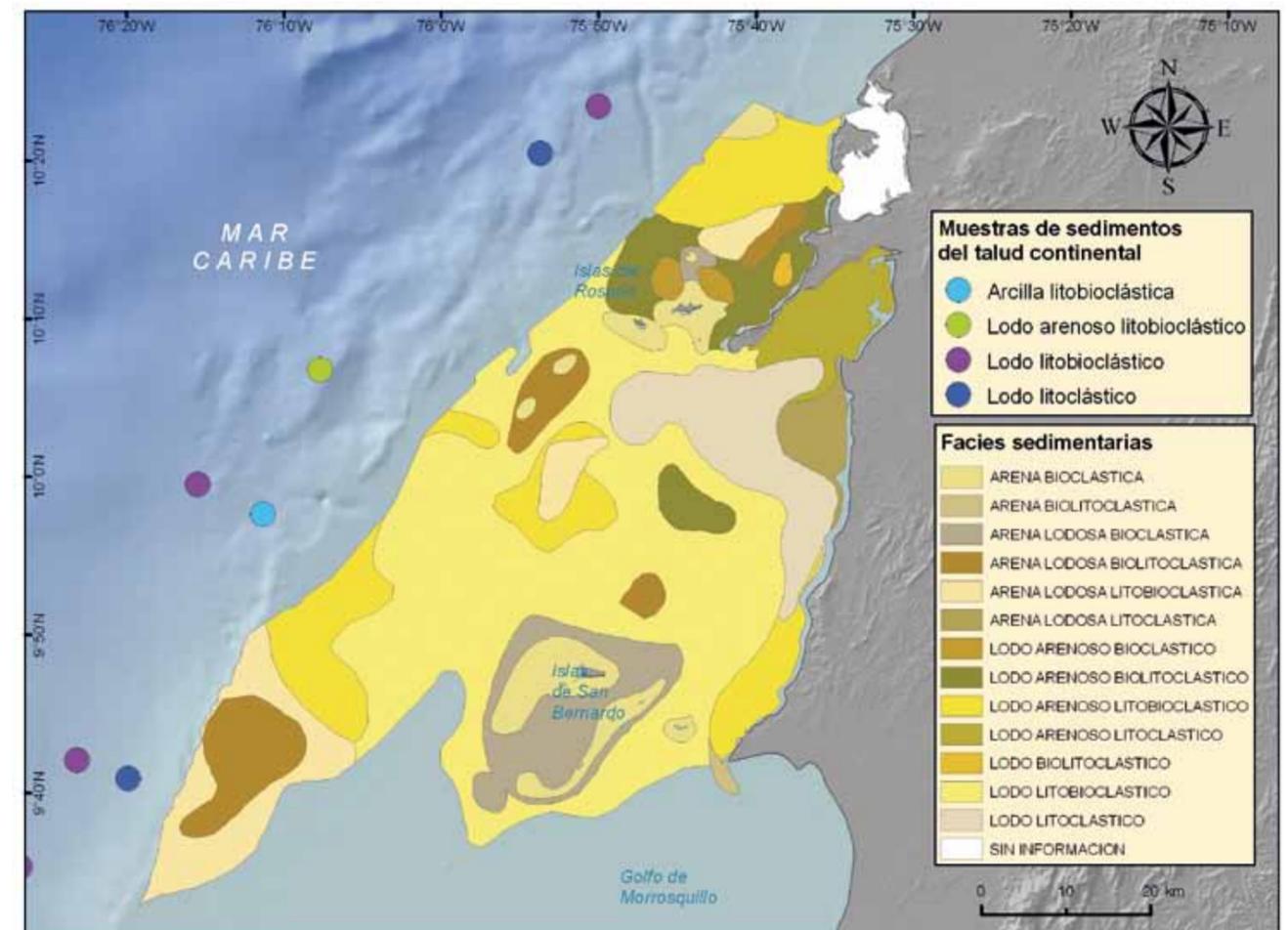
De manera general el contenido de  $\text{CaCO}_3$  en los sedimentos varía entre 0% y 70%. En la plataforma externa del sector más norte se presenta una banda de sedimentos calcáreos restringidos entre las isóbatas de -40 m y -100 m; la extensión de estos depósitos decrece al suroccidente. En el sector sur, una cobertura de sedimentos arenosos y lodosos moderadamente calcáreos

(contenido de  $\text{CaCO}_3$  entre 15% y 50%) recubre la parte occidental de la entrada del golfo de Urabá (Figura 11). Este material bioclástico proviene de dos sistemas arrecifales (Javelaud 1987): los arrecifes sumergidos remanentes del norte, entre Cartagena e isla Fuerte, y el archipiélago arrecifal de San Blas distribuido a lo largo de la costa de Panamá.

Según Javelaud (1987) la ocurrencia de relictos de formaciones carbonatadas y de sedimentos mixtos (arenas lodosas y lodos calcáreos) es producto de la dilución de un material bioclástico por sedimentos detríticos antiguos (arenas cuarzosas pre-holocenas) o actuales (lodos

terrágenos) que ocupan una situación intermedia en la plataforma. En este sentido, la posición batimétrica de los domos (volcanes) de lodo origina una estructura hidrológica que favorece la instalación puntual de arrecifes en un contexto sedimentario terrígeno (Javelaud 1987).

En los límites entre los sectores del delta del Magdalena y Sinú, entre el sur de la ciudad de Cartagena (Bolívar) y el archipiélago de San Bernardo se presenta una zona dominada por una sedimentación calcárea con arenas bioclásticas arrecifales en los bajos y con lodos y lodos arenosos litobioclásticos en las cuencas internas (Ver-nette 1985) (Figura 12). Asociada a la desembocadura



**Figura 12.** Mapa de distribución de facies sedimentarias para la plataforma continental del sector de los archipiélagos (modificado de CIOH, 1999). Se incluye la localización y clasificación de las muestras sedimentológicas recolectadas en el talud continental en los proyectos ANH I y II.

del canal del Dique se presenta la única sedimentación terrígena de esta zona, representada por lodos arenosos y arenas lodosas litoclásticas en la parte más cercana a la costa (hasta la isóbata de -20 m aproximadamente) y por lodos litoclásticos hacia el mar abierto, los cuales constituyen pequeñas formas deltaicas (Figura 12). Según Vernet (1985), estos aportes terrígenos marcan un límite entre dos sectores claramente diferenciados:

- Un sector al norte, que se extiende desde el banco de Salmedina hasta las islas del Rosario, es decir, frente a las costas de Tierra Bomba y Barú; esta zona de la plataforma está caracterizada por la ausencia de aportes fluviales y la multiplicidad de bajos arrecifales y de islas que presentan una sedimentación calcárea predominante.
- Un sector al sur, donde al contrario, la sedimentación carbonatada marina está influenciada por la entrada de aportes terrígenos provenientes del canal del Dique principalmente; sin embargo, estos últimos se localizan principalmente en la plataforma interna.

Según Javelaud (1987) las construcciones (bajos) arrecifales presentes en este sector están instaladas en relieves preexistentes de origen tectónico (volcanes de lodo y bloques fallados) y en cuencas interdiapíricas de sedimentación arcillo-arenosa calcárea. En este sentido, se reconocen dos tipos de formaciones arrecifales (Javelaud 1987):

- **Formaciones arrecifales relicto**, localizadas entre las isobatas de -50 m y -90 m, de edad entre 11000 y 8000 años AP. Estos cuerpos, formados en períodos de nivel del mar más bajo que el actual, han aportado una cantidad importante de material bioclástico, el cual fue re TRABAJADO y dispersado hacia el suroccidente por medio de una deriva litoral contemporánea a la construcción del arrecife.

- **Formaciones arrecifales actuales**, localizados hasta la isóbata de -40 m en torno a cadenas de islas (archipiélagos del Rosario y San Bernardo) y colonizando las áreas más próximas a la costa. La instalación de estos arrecifes corresponde a un nivel del mar más alto que el actual estabilizado en los últimos 5000 años. Actualmente, estas formas arrecifales están representadas por franjas de arrecifes, bancos coralinos no emergidos (banco de Salmedina y banco Tortuga) y por cayos (isla Tesoro e isla Arenas), siendo estos biohermos los que contribuyen a la constitución de una facies mixta (biolitoclástica y litobioclástica) en su periferia.

Las muestras sedimentológicas correspondientes al talud continental del sector del Sinú (recolectadas en los proyectos ANH I y II) se distribuyen entre las isobatas de -450 m y -780 m (Figuras 11 y 12). En las 13 muestras analizadas predominan los lodos litobioclásticos y litoclásticos, con contenido de  $\text{CaCO}_3$  entre 6% y 27%, y de materia orgánica entre 16,4% y 30,2%.

## CONCLUSIONES

Se presentó en este capítulo una revisión del contexto geológico general, geomorfología y facies sedimentarias del margen continental y fondos oceánicos del Caribe colombiano a partir de la información batimétrica y sedimentológica colectada en los últimos años por el CIOH, ANH e Invemar, entre otras instituciones. A partir de esta información y en consenso con otros autores (e.g. Vernet 1985, Javelaud, 1987, Duque-Caro 1984) se reconoce que las características geomorfológicas y sedimentarias del Caribe colombiano son consecuencia de la influencia de los siguientes fenómenos que intervienen en diferentes escalas de tiempo y espacio:

- Tectónica regional, que responde a la interacción de tres placas tectónicas mayores (Suramericana, Nazca y Caribe).

- Aporte de sedimentos terrígenos provenientes del sistema montañoso de los Andes colombianos y la Sierra Nevada de Santa Marta a través de ríos como Atrato, Sinú, Magdalena y Ranchería, que se depositan en la plataforma y talud continental.

- El fenómeno de diapirismo de lodo que es consecuencia de procesos sedimentarios y tectónicos.

- Variaciones en el nivel mar durante el Holoceno (<0,01 Ma).

- Dinámica marina actual influenciada por procesos tectónicos, sedimentológicos, marino-costeros, climáticos, biológicos y antropogénicos.

Teniendo en cuenta lo anterior y a partir de la información recopilada y analizada se diferencian cuatro sectores en el Caribe colombiano que exhiben características geomorfológicas y sedimentológicas distintas, denominadas en este capítulo como La Guajira, Tayrona, Delta del Magdalena y Sinú.

El sector de La Guajira posee una plataforma continental que se va ampliando hacia el oriente desde inmediaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta donde prácticamente es inexistente. La sedimentación en esta plataforma es rica en carbonatos definiendo facies predominantemente orgánicas, con excepción de una pequeña franja de sedimentación terrígena en el sector adyacente a la Sierra Nevada.

Contrariamente a La Guajira, el sector Tayrona se caracteriza por la ausencia de una verdadera plataforma continental, tratándose realmente de un talud muy cercano a la costa con pendientes altas y variables (entre 2° y 18°), que se encuentra cortado por valles estrechos y cañones orientados tanto de manera oblicua como perpendicular a la costa; la sedimentación en este sector

es en su mayoría terrígena consecuencia directa de los aportes sedimentarios provenientes del macizo montañoso Sierra Nevada de Santa Marta.

El sector delta del Magdalena también presenta una plataforma estrecha (<2 km) provocando que un alto porcentaje de la carga sedimentaria transportada por el río se deposite de manera directa sobre el talud continental. En este sector predominan los sistemas de flujo representados por canales y cañones que nacen en la plataforma y se prolongan hasta la parte inferior del talud permitiendo el desarrollo de corrientes turbidíticas. En cuanto a las características sedimentológicas, se presenta un marcado dominio de sedimentos detríticos lodosos a areno-lodosos.

El sector del Sinú está directamente influenciado por la presencia del denominado cinturón del Sinú, por lo cual exhibe una geomorfología submarina compleja: relieves positivos, escarpes, antiformal, canales enterrados, posibles zonas de emanación de fluidos y domos. Muchas de estas geoformas son producto del fenómeno de diapirismo de lodo y de la actividad tectónica de la zona. La sedimentación calcárea predomina en este sector y es consecuencia de la presencia de formaciones arrecifales tanto relicto como actuales. Los sedimentos terrígenos se restringen hacia la desembocadura del canal del Dique y de los ríos Sinú y Atrato.

En cuanto al conocimiento general de las características geológicas, geomorfológicas y sedimentológicas del Caribe colombiano es claro que la mayor contribución ha estado ligada al desarrollo de la industria petrolera en nuestra nación (exploración y explotación de hidrocarburos) que, aunque reciente, ha permitido la realización de investigaciones *onshore* y *offshore*. Este nuevo conocimiento no sólo es de utilidad para la explotación de nuevos recursos sino también para sentar bases sólidas en el descubrimiento y posterior entendimiento de nuevos ecosistemas de profundidad (por ejemplo, *vents*, *cold seeps*, entre otros).

El Caribe colombiano es una región sumamente extensa que está aún por descubrir. En tal sentido, la revisión presentada en este capítulo constituye una base para el entendimiento de los procesos geológicos que operan en él y por ende para encaminar nuevas investigaciones en un futuro cercano.

## AGRADECIMIENTOS

Los Autores agradecen a las geólogas Georgina Guzmán y Blanca O. Posada por sus comentarios y sugerencias. De Igual forma reconocen el trabajo realizado por el Laboratorio de Sistemas de Información-LabSIS del Invevar en la preparación de las salidas gráficas de este capítulo.

## REFERENCIAS

- Acosta I. y J. Díaz. 1990. Estudio ecológico integrado de la zona costera de Santa Marta y el Parque Nacional Natural Tayrona. Informe final, Invevar, Santa Marta, 439 p.
- Audemard F. y F. Audemard. 2002. Structure of the Mérida Andes, Venezuela: relations with the South America-Caribbean geodynamic interaction. *Tectonophysics*, 345: 299-327.
- Blanco J., J.M. Díaz, G. Ramírez y M. Cortés. 1994. El Banco de las Ánimas: una amplia formación arrecifal desarrollada sobre un antiguo delta del río Magdalena. *Boletín Ecológico*, 27: 10-18.
- Bordyne B. 1974. Neogene biostratigraphy and paleoenvironments of lower Magdalena basin. Ph.D. thesis, Louisiana State University, 265 p.
- Buchanan J.B. y J.M. Kain. 1971. Measurements of the physical and chemical environment, 30-58. En: Holme, N. A. y A. D. MacIntyre (Eds.). *Methods for the study of marine benthos*. Blackwell Scientific Publication. Oxford, UK.
- Cediel F., R. Shaw y C. Cáceres. 2003. Tectonic assembly of the northern Andean Block, 815-848. En: Bartolini C., R. Buffler y J. Blickwede (Eds.). *The circum-gulf of Mexico and Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation and plate tectonics*, AAPG Memoir 79.
- CIOH. 1999. Carta de repartición de facies sedimentarias. Escala 1:300000. Cartagena.
- Cortés M. y J. Angelier. 2005. Current states of stress in the northern Andes as indicated by focal mechanisms of earthquakes. *Tectonophysics*, 403: 59-75.
- Cuignon R. 1987. Estudio de la plataforma del Caribe colombiano, Fase Guajira. *Boletín Científico CIOH*, 7: 53-72.
- Duncan R.A. y R.B. Hargraves. 1984. Plate tectonic evolution of the Caribbean region in the mantle reference frame. *Geological Society of America Bulletin Memoir*, 162: 81-93.
- Duque-Caro, H. 1979. Major structural elements and evolution of northwestern Colombia. *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 29: 329-351.
- Duque-Caro H. 1984. Estilo estructural, diapirismo y episodios de acrecimiento del terreno Sinú-San Jacinto en el noroccidente de Colombia. *Boletín geológico de Ingeominas*, 27 (2). Santafé de Bogotá, Colombia. 29 p.
- Duque-Caro H. 1994. Structural style, diapirism, and accretionary episodes of the Sinú-San Jacinto terrane, southwestern Caribbean borderland. 303-316. En: Bonini W.E. y R.B. Hargraves (Eds.). *The Caribbean-South American Plate Boundary and Regional Tectonics*. *Geological Society of America Memoir*, 162.
- Ercilla G., B. Alonso, F. Estrada, F. Ghiocci, J. Baraza y M. Faran. 2002. The Magdalena turbidite system (Caribbean Sea): present-day morphology and architecture model. *Marine Geology*, 185: 303-318.
- Flinch J.F. 2003. Structural evolution of the Sinú-Lower Magdalena area (Northern Colombia). 776-796. En: Bartolini C., R.T. Buffler y J. Blickwede (Eds.). *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics*: AAPG Memoir, 79.
- Folk R.L. 1968. *Petrology of Sedimentary Rocks*. University of Texas Publication, Austin, 170 p.
- Ingeominas. 1986. Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia. Publicaciones Especiales de Ingeominas, 14-1: 235 p.
- Ingeominas. 2003. Geología de los Cinturones Sinú-San Jacinto. Planchas 50 Puerto Escondido, 51 Lorica, 59 Mulatos, 60 Canalete, 61, Montería, 69 Necoclí, 70 San Pedro de Urabá, 71 Planeta Rica, 79 Turbo, 80 Tierralta. Escala 1:100.000. Memoria explicativa por Geotec Ltda., 225 p.
- Javelaud. O. 1987. La sedimentation du plateau continental de la Colombie Caraibe au cours du Quaternaire terminal. Thèse d'Etat, Université de Bordeaux, Bordeaux, 382 p.
- Kellogg J.N. y W.E. Bonini. 1982. Subduction of the Caribbean Plate and basement uplifts in the overriding South American Plate. *Tectonics* 1 (3): 251-276.
- Kolla V. y R. Buffler. 1985. Morphologic, acoustic, and sedimentologic characteristics of the Magdalena fan. *Geo-Marine Letters*, 3: 85-91.
- Kolla V., R. Buffler y J. Ladd. 1984. Seismic stratigraphy and sedimentation of Magdalena fan, Southern Colombian basin, Caribbean Sea. *AAPG Bulletin*, 68: 316-332.
- Krause D. 1971. Bathymetry, geomagnetism and tectonics of the Caribbean Sea North of Colombia. *Geological Society of America Memoir*, 30: 35-54.
- López E. 2005. Evolución tectónica de la región Caribe de Colombia. Informe interno, Ingeominas, Bogotá, 51 p.
- Mantilla M. y B. Mullett. 1991. Modelo preliminar de evolución tectónica para el extremo Oriental de la Falla de Oca, Departamento de La Guajira. Tesis Geólogo, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- Mazorra J. 2004. Geomorfología y dinámica de la franja costera entre Punta Arboletes y Cristo Rey, Departamento de Córdoba. Tesis Geología, Universidad Nacional-Invevar, Bogotá.
- Molina L., F. Pérez, J. Martínez, J. Franco, L. Marín, J. González y J. Carvajal. 1998. Geomorfología y aspectos erosivos del litoral Caribe colombiano. Publicaciones Especiales de Ingeominas, 21: 1-73.
- Nittrouer Ch., J. Austin, M. Field, J. Kravitz, J. Syvitski y P. Wiberg. 2007. Writing a Rosetta stone: Insights into continental-margin sedimentary processes and strata. En: Jarvis I. (Ed.). *Continental margin sedimentation: From sediment transport to sequence stratigraphy*. Special Publication Number 37 of the International Association of Sedimentologists, 549 p.
- Ordóñez C. 2006. Rasgos de levantamiento de la margen continental a partir del Oligoceno: Contribución al conocimiento del noreste colombiano. *Boletín Científico CIOH*, 24: 126-138.
- Pujos M. y O. Javelaud. 1991. Depositional facies of a mud shelf between the Sinu River and the Darien Gulf (Caribbean coast of Colombia): Environmental factors that control its sedimentation and origin of deposits. *Continental Shelf Research*, 11(7): 601-623.
- Rangel N. 2004. Estudio geológico de los procesos que tiene lugar en la zona marino costera del sector Cristo Rey-Paso nuevo, departamento de Córdoba. Tesis Geología, Universidad de Caldas-Invevar, Manizales.
- Rangel N. 2009. Evolución histórica y geomorfología entre el Cabo San Juan de Guía y el Río Cañas. Tesis M.Sc., Universidad EAFIT, Medellín, 90 p.
- Reading H.G. y M. Richards. 1994. Turbidite systems in deep-water basin margins classified by grain size and feeder system. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 78: 792-822.
- Restrepo I., G. Ojeda e I. Correa. 2007. Geomorfología de la plataforma somera del departamento de Córdoba, costa Caribe colombiana. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 20: 39-52.
- Restrepo I. 2006. Rasgos geomorfológicos de la plataforma continental somera del departamento de Córdoba. Tesis M.Sc., Universidad EAFIT, Medellín.
- Robertson K. y J. Chaparro. 1998. Evolución histórica del delta del río Sinú. *Cuadernos de Geografía*, 1 (1-2).
- Romero J. 2006. Estudio sedimentológico de la plataforma continental de La Guajira entre los 10 y 50 m de profundidad. Tesis Geología, Universidad Nacional, Bogotá, 96 p.
- Shepard F. 1973. Sea Floor off Magdalena Delta and Santa Marta Area, Colombia. *Geological Society of America Bulletin*, 84: 1955-1972.
- Shepard F., R. Dill y B. Heezen. 1968. Diapiric intrusions in foreset slope sediments off Magdalena Delta, Colombia. *The American Association of petroleum Geologist Bulletin*, 52 (11): 2197-2207.
- Taboada A., L.A. Rivera, A. Fuenzalida, A. Cisternas, H. Philip, H. Bijwaard, J. Olaya y C. Rivera. 2000. Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia): *Tectonics*, 19(5):787-813.
- Toto E. y J. Kellogg. 1992. Structure of the Sinu-San Jacinto fold belt. An active accretionary prism in northern Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 5(1):211-222.
- Trenkamp R., J. Kellogg, J. Freymueller y H. Mora. 2002. Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations. *Journal of South American Earth Sciences*, 15(2):157-171.
- Tschanz CH., A. Jimeno y C. Vesga. 1969. Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta Area (Colombia). Informe final, Ingeominas, Bogotá, 288 p.
- Vernette G. 1985. La plateforme continentale caraibe de Colombie (du débouché du Magdalena au Golfe de Morrosquillo). Importance du diapirisme argileux sur la morphologie et la sédimentation. Thèse d'Etat, Université de Bordeaux, Bordeaux, 387 p.
- Vernette G. y A. Klingebiel. 1988. Geometry and sedimentary facies of interdiapiric basins along the Caribbean Colombian margin. En: Barker L. (Ed.). *Transaction of the Eleventh Caribbean Geological Conference*. Energy and Natural Resource Division, Barbados, Dover Beach, Barbados.
- Vernette G., A. Mauffret, C. Bobier, L. Briceno y J. Gayet. 1992. Mud diapirism, fan sedimentation and strike-slip faulting, Caribbean Colombian Margin. *Tectonophysics*, 202: 335-349.
- Wetzel A. 1993. The transfer of river load to deep-sea fans: A quantitative approach. *American Association Petroleum Geologists Bulletin*, 77: 1679-1692.



# 2

## CONTEXTO CLIMATOLÓGICO Y OCEANOGRÁFICO DEL MAR CARIBE COLOMBIANO

*Yesid Lozano-Duque<sup>1</sup>, Johanna Medellín-Mora<sup>2</sup> y Gabriel R. Navas S.<sup>3\*\*</sup>*

1. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – Invemar, Cerro Punta Betín, Santa Marta, Colombia.

\* Dirección actual: Universidad del Valle, Colombia. Correo electrónico: yesidlozanoduque@yahoo.com.mx

2. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - Invemar, Programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos. Museo de Historia Natural Marina de Colombia, Cerro de Punta Betín, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: johanna\_medellin@invemar.org.co

3. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – Invemar, Cerro Punta Betín, Santa Marta, Colombia.

\*\* Dirección actual: Universidad de Cartagena, Colombia. Correo electrónico: gnavass@unicartagena.edu.co

**Figura separador:** Maniobra de lance de la CTDO en el B/I Ancón, exploración ANH I.

## RESUMEN

En este capítulo se presenta una visión general del contexto climatológico y oceanográfico del Caribe colombiano, complementado con información oceanográfica recolectada durante las expediciones ANH I (mayo-junio de 2008) y ANH II (octubre-diciembre de 2009). En estas expediciones se determinó la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y densidad en 32 estaciones distribuidas a lo largo del Caribe colombiano. Se encontró que las estaciones en la zona nororiental se caracterizan por presentar aguas superficiales con mayor salinidad, más densas y de menor temperatura que las estaciones ubicadas hacia la zona suroccidental. Los perfiles verticales de las variables oceanográficas evaluadas demostraron una estratificación en la columna de agua típica de mares tropicales, formada por una superposición de capas; siendo las capas superficiales normalmente más cálidas y menos densas que las más profundas. Finalmente, con base en el análisis del diagrama T-S se determinó la presencia de tres masas de agua: Agua Superficial del Caribe, Agua Subsuperficial Subtropical y Agua Intermedia Antártica.

**Palabras clave:** *Climatología, oceanografía, corrientes marinas, aguas superficiales, masas de agua, mar Caribe colombiano.*

## ABSTRACT

This chapter presents an overview of the climatological and oceanographic context of the Colombian Caribbean, supplemented with information collected during oceanographic expeditions ANH I (May-June 2008) and ANH II (October-December 2009). During these expeditions it was determined the temperature, salinity, dissolved oxygen and density at 32 stations distributed along the Colombian Caribbean. It was found that stations in the northeastern are characterized by cooler surface water with higher salinity and density

than the southwestern stations. The vertical profiles of oceanographic variables showed stratification in the water column, typical of tropical seas, forming overlapping layers, being the superficial layers warmer and less dense than those found at depth. Finally, based on T-S diagram analysis it was identified the presence of three water masses: Caribbean Surface Water, Subtropical Underwater Water and Antarctic Intermediate Water.

**Key words:** *Climatology, oceanography, ocean currents, surface waters, waters masses, Colombian Caribbean Sea.*

## INTRODUCCIÓN

El estudio de las condiciones oceanográficas del mar Caribe colombiano es un tema aun por explorar, y en especial la investigación en aguas profundas. Los pocos trabajos (la mayoría realizados por buques extranjeros) han ayudado a entender a grandes rasgos los procesos oceanográficos que se presentan en aguas colombianas, especialmente en cuanto al sistema de corrientes y a la descripción de las masas de agua. El presente trabajo pretende aportar a la comprensión de procesos que ocurren en el océano y en la atmósfera en esta zona del Caribe. A partir de una revisión de la información disponible se da una introducción de los fenómenos meteorológicos que afectan el mar Caribe, y se continúa con una descripción de las condiciones oceanográficas, las cuales son complementadas con la descripción de las variables oceanográficas obtenidas durante las expediciones ANH I 2008 y ANH II 2009 a bordo del buque oceanográfico B/I Ancón de propiedad del Invemar.

## CLIMATOLOGÍA

El clima en el Caribe colombiano está determinado por su ubicación en la zona tropical la cual debido al ángulo de inclinación del planeta está expuesta a los rayos solares de forma directa, por lo cual no se presenta una marcada estacionalidad climática como ocurre en

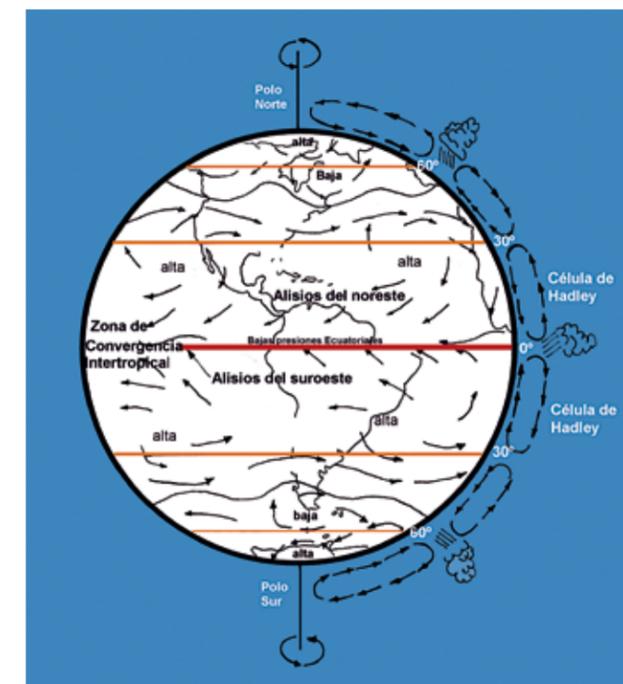
las zonas templadas. En esta región se presentan periodos estacionales menos evidentes que se manifiestan por cambios en el comportamiento de los vientos y la precipitación, y que han sido explicados principalmente por los movimientos de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y su influencia sobre la dinámica de los vientos Alisios del noreste. Se reconocen una época seca de vientos fuertes (diciembre a abril), una época de transición (mayo a julio) y una época lluviosa (agosto a noviembre) (Salzwedel y Müller 1983, Blanco 1988, Botero y Álvarez-León 2000, Andrade-Amaya 2001). Estas épocas climáticas pueden cambiar tanto en duración como en intensidad debido a la influencia del Sistema de Monzones Americanos, las corrientes de vientos atmosféricos de bajo nivel y los eventos de El Niño y La Niña (Nystuen y Andrade 1993, Andrade-Amaya 2001, Bernal *et al.* 2006).

### Vientos Alisios

Los vientos Alisios actúan en las regiones tropicales entre los cinturones de altas presiones subtropicales y bajas presiones ecuatoriales (Figura 1). El efecto de la fuerza de Coriolis, producida por la rotación de la tierra, ocasiona que estos vientos que se dirigen hacia el Ecuador se desvíen hacia la derecha en el hemisferio norte (Alisios del noreste) y hacia la izquierda en el hemisferio sur (Alisios del suroeste). La influencia de la fuerza de Coriolis, y la convergencia de estos vientos hacia la zona ecuatorial hace que el aire ascienda hasta la tropósfera (10 km de altura), y se aleje del Ecuador como una corriente de retorno, sobre la cual actúa de nuevo la fuerza de Coriolis provocando una desviación de los vientos en cada hemisferio, convirtiéndolos en “contraalisios” (León *et al.* 2000).

Esta corriente de retorno al llegar a las zonas de altas presiones subtropicales (30° latitud) se divide en dos, una parte de este viento sufre un movimiento descendente (subsistencia) ocasionando un calentamiento del aire por compresión que disminuye el desarrollo de las

nubes. Esta subsistencia separa el aire húmedo, situado abajo, del aire cálido y muy seco situado arriba. De esta forma se origina en cada hemisferio una amplia célula convectiva conocida como “Célula de Hadley” (Figura 1). La otra parte que no desciende en las latitudes de 30°, continúa su desplazamiento hasta latitudes más altas (León *et al.* 2000).



**Figura 1.** Esquema de la circulación general del sistema de vientos Alisios.

La dirección del viento en la zona costera del Caribe colombiano generalmente muestra una tendencia noreste-suroeste. Durante la época seca se presentan valores promedio de velocidad entre 6,0 – 7,0 m s<sup>-1</sup> con valores máximos hasta de 18,4 m s<sup>-1</sup> (Franco-Herrera 2005). En la época de transición la intensidad disminuye con valores promedio de 2,4 m s<sup>-1</sup>, con un ligero incremento en julio y agosto en el “veranillo de San Juan”. En la época lluviosa se evidencia una reducción significativa de la velocidad del viento con valores promedio de 1,02 m s<sup>-1</sup> (Andrade 1993, Franco-Herrera 2005, IDEAM 2009).

## Zona de convergencia intertropical (ZCIT)

La convergencia de los Alisios del noreste y suroeste en la región ecuatorial forma la ZCIT, una estrecha banda zonal de vigorosa convección que se manifiesta por el desarrollo de cúmulos, rara vez aparece como una banda continua de nubosidad convectiva y casi nunca se encuentra centrada en el Ecuador (Figura 1). Esta se presenta como un conjunto de conglomerados de nubes con escalas del orden de cientos de kilómetros, que están separadas por regiones de cielos relativamente despejados; su intensidad es variable en términos de tiempo y espacio (León *et al.* 2000). La ZCIT se desplaza latitudinalmente entre los 2 y 11° latitud norte y determina la estacionalidad en el Caribe Colombiano. Entre enero y febrero se desplaza hacia el sur permitiendo la influencia de los vientos Alisios del noreste originando la época seca. Entre septiembre y noviembre se desplaza al norte entre los 7 y 11°, ocasionando la época lluviosa. Entre marzo y agosto se presenta el periodo de transición causado por el tránsito de la ZCIT (León *et al.* 2000).

## Precipitación

En el segundo periodo del año la presencia de la ZCIT sobre el Caribe colombiano hace que la fuerza de los vientos Alisios se debilite, originando el periodo de lluvias. Al nororiente del Caribe colombiano, en el departamento de La Guajira, la precipitación total anual es menor a 500 mm, este valor tiende a aumentar hacia la parte media y baja de este departamento, donde alcanza los 1000 mm (Pabón *et al.* 1998). Manjarrés *et al.* (2005) citan promedios de precipitación anual en la ciudad de Riohacha de 614,76 y en Santa Marta de 501,53 mm. En esta última zona los valores totales anuales entre 1974 y 2000 variaron entre 288,7 y 1104,8 mm (Posada-Peláez 2005).

## Monzones

La zona tropical también está influenciada por los monzones los cuales son producidos por el contraste de las propiedades térmicas entre el continente y el océano generando cambios estacionales en la dirección del viento. La absorción de energía solar eleva la temperatura superficial, siendo mayor en el continente que en la superficie oceánica. Este calentamiento propicia la formación de cúmulos que generan liberación de calor latente (evaporación) y producen un aumento en la temperatura en la tropósfera, ocasionando que el espesor de la atmósfera sea mayor en el continente que en el océano. De esta forma la fuerza de cambio de presión en los niveles altos se dirige del continente al océano. El viento divergente que se desarrolla en respuesta a este cambio de presión causa un transporte de masa fuera de la columna de aire sobre el continente y genera una baja de presión superficial por encima del mismo. Asimismo, un viento convergente se desarrolla en los niveles bajos produciendo una convergencia de humedad e incrementa la temperatura en la capa límite originando la formación de cúmulos que son el factor determinante de la circulación monzónica (Carvalho *et al.* 2007).

En el continente americano se presentan tres sistemas monzónicos: Norteamérica, Centroamérica y Suramérica. El sistema monzónico de Suramérica produce una fuerte actividad convectiva, precipitación intensa y circulación atmosférica a gran escala principalmente entre diciembre y febrero. El sistema monzónico de Norteamérica ocurre durante junio y agosto y está asociado a fuertes variaciones de precipitación y viento que modulan los eventos extremos en las Américas, como los huracanes y las lluvias intensas. Produce variabilidad climática en escalas mayores que una semana y menores que una estación (Andrade-Amaya 2001, Carvalho *et al.* 2007). El Monzón de América Central se origina entre estos dos monzones hemisféricos y se divide en dos fases: la fase caliente “transición” de marzo a junio

y la fase fría de septiembre a noviembre. Durante julio y agosto se presenta la máxima acción del Monzón Norteamericano produciendo en el Caribe un periodo de sequía (Andrade-Amaya 2000).

## Corrientes de vientos atmosféricos de bajo nivel

La región noroccidental de Suramérica se encuentra influenciada por la presencia de corrientes de vientos en chorros superficiales atmosféricos que presentan su mayor intensidad entre 900 y 1000 hPa (bajo nivel), asociados con fuertes gradientes océano-tierra-atmósfera. En Colombia se destacan la corriente de Bajo Nivel de Suramérica, el Chorro de San Andrés conocido también como Chorro de Bajo Nivel del Caribe y el Chorro de Chocó (Bernal *et al.* 2006).

La corriente de Bajo Nivel de Suramérica se forma por una aceleración de los vientos Alisios, con flujo en dirección oeste, localizándose su núcleo permanente en el centro del mar Caribe. Durante la época seca presenta velocidades superiores a los 12 m s<sup>-1</sup> con un fuerte componente en dirección sur, sobre ella se forma un sistema de vientos con dirección opuesta. La interacción entre estas dos corrientes de vientos da origen a la circulación ciclónica característica del Caribe colombiano (Andrade-Amaya 2000). Durante la estación de lluvias se produce una inversión de este sistema de vientos tanto en superficie como en altura alcanzando velocidades altas en el Caribe central hasta el mes de octubre. La posición y velocidad adquirida por la corriente de bajo nivel en el centro del Caribe mantiene la vorticidad del viento superficial, la cual tiene pequeños cambios estacionales (Andrade-Amaya 2000).

En el Caribe, se conjuga la acción de los chorros de San Andrés y Chocó. El primero es producido por los Alisios del noreste y está localizado entre los 13° y 15° de latitud norte y es responsable del clima seco sobre la región de La Guajira. Su máxima velocidad se presenta en la época

seca mayor y transición (veranillo de San Juan) con velocidades de 10 m s<sup>-1</sup> y la mínima en época lluviosa con velocidades de 6 m s<sup>-1</sup>. El segundo, ubicado a los 5° latitud Norte, se origina en los Alisios del Sureste sobre el océano Pacífico oriental presentando un mínimo de velocidad (2 m s<sup>-1</sup>) de marzo a mayo y un máximo (6 m s<sup>-1</sup>) de septiembre a noviembre. Este chorro es el responsable del transporte de humedad desde el Pacífico hasta el continente. Así mismo, la dominancia de los Alisios y los chorros se relaciona con los desplazamientos de la ZCIT (Poveda 1998, Poveda y Mesa 1999, 2000).

## El Niño Oscilación del Sur (ENOS)

En el Pacífico tropical se presentan eventos cálidos y fríos conocidos como “El Niño Oscilación del Sur” (ENOS) en los cuales las condiciones atmosféricas y oceanográficas del océano Pacífico se modifican. Estas variaciones son detectadas por un cambio inversamente proporcional en el sistema de presiones atmosféricas entre el océano Pacífico occidental (Indonesia y norte de Australia) y oriental (isla de Pascua-Chile), medido mediante el Índice de Oscilación del Sur (IOS) (CCCP 2002). Cuando este índice es negativo refleja una progresiva disminución del flujo de los vientos Alisios generando El Niño, caracterizado por un descenso en la presión atmosférica, aumento en la temperatura superficial del mar, aire y las precipitaciones. Cuando el índice es positivo con valores representativos evidencia condiciones inversas a las descritas anteriormente, produciendo el evento conocido como La Niña. Estos eventos ocurren en intervalos de entre dos y siete años, alcanzando una duración entre 12 y 18 meses (CCCP 2002).

Se ha logrado establecer que las dos fases del ENOS producen alteraciones de forma irregular en la cantidad y distribución de las lluvias sobre el territorio colombiano que no siempre están relacionadas con la intensidad del evento. Durante los eventos cálidos El Niño se ha observado una reducción de las precipitaciones con un cubrimiento superior al 80% en las llanuras del Caribe

(Antioquia, Córdoba, Sucre, Bolívar, Magdalena, Cesar y La Guajira), mientras que durante La Niña en esta zona se produce un aumento de las lluvias con una cobertura entre 60 y 80% (Montealegre 1996).

Giannini *et al.* (2000) postulan que durante la fase madura de un evento El Niño se presentan condiciones más húmedas que el promedio en la sección noroeste del Caribe (Yucatán, la costa caribeña de Honduras y Cuba), mientras que en la región suroeste (Costa Rica y el norte de Suramérica) estas tienden a ser más secas que el promedio.

En el Caribe colombiano, aunque no se han estudiado con detalle los cambios generados por los eventos El Niño y La Niña, se han detectado modificaciones en los ciclos climáticos que pueden influenciar las condiciones oceanográficas. De esta forma, Pabón *et al.* (1998), registraron anomalías pequeñas de la temperatura superficial del mar con un aumento de 0,5 °C en promedio en el océano Atlántico durante el evento El Niño de 1997. Igualmente, durante este año Rodríguez-Ramírez y Garzón-Ferreira (2003) registraron el acumulado de pluviosidad más bajo entre 1993 y 1999. De igual forma durante 1999 Franco-Herrera (2005) registró un aumento en la precipitación anual de la región de Santa Marta de 962.3 mm que coincide con la presencia del evento La Niña en el Pacífico.

Por otra parte Caviedes (1998) afirma que los ríos colombianos que desembocan en el Caribe presentan bajos caudales durante el evento El Niño como reflejo de bajas precipitaciones en el norte suramericano y altos caudales con el aumento de precipitaciones durante La Niña. Así mismo, Pétus *et al.* (2007) afirman que en el año de 1998 se presentó una fuerte disminución en los Alisios después del evento El Niño en 1997 que originó variaciones en el afloramiento de La Guajira, y en los años posteriores durante La Niña de 1995, 1998 y de 1999 se observó una reanudación de la intensidad de los Alisios costeros y un aumento en la intensidad del afloramiento.

### Procesos que determinan el estado del tiempo en el mar Caribe colombiano

El estado del tiempo que se presenta en una región está determinado por las condiciones de la circulación atmosférica, como la temperatura del aire, la humedad y la presión atmosférica, entre otros, moduladas por procesos sinópticos (los cuales abarcan áreas entre 1000 y 2000 km y presentan una duración de tres a cinco días), que a su vez pueden fortalecer o debilitar el desarrollo de procesos mesoescalares (>100 km, un día) y locales (<100 km, horas). Según León *et al.* (2000), Pabón *et al.* (2001 a) y Melo y Pabón (2002) el clima del Caribe colombiano se encuentra bajo la influencia de los siguientes procesos:

#### Procesos sinópticos

Las ondas tropicales del este, las cuales son perturbaciones ondulatorias que aparecen en el flujo de los vientos Alisios del noreste sobre el Atlántico tropical y Mar Caribe; presentan una longitud promedio de 1500 km y una velocidad promedio de 20 a 30 km.h<sup>-1</sup> influenciando el Caribe colombiano en el periodo de mayo a noviembre (época de transición y lluviosa). Dependiendo de su intensidad, a medida que la onda se desplaza hacia el occidente va generando variaciones del estado del tiempo, como por ejemplo uno o dos días de tiempo seco seguidos de uno o dos días de nubosidad y lluvias.

Los ciclones tropicales son sistemas de baja presión que se observan en la zona donde actúan los Alisios del noreste o del sureste; se caracterizan por presentar valores bajos de presión atmosférica, intensidad de los vientos, nubosidad de tipo convectivo y abundantes lluvias. De acuerdo con los valores de velocidad del viento se clasifican en: depresiones tropicales (velocidad menor de 16 m.s-1), tormentas tropicales (entre 16 m.s-1 y 33 m.s-1) y huracanes (superior a 33 m.s-1). En el Atlántico tropical, el mar Caribe y el Golfo de México los ciclones tropicales se presentan de junio a noviembre (Ortiz-Royero 2007). Los vientos fuertes en interacción con la super-

ficie del mar producen alto oleaje, mar de leva, mar de fondo y marea de tempestad en las costas. En muchas ocasiones la influencia de estos sistemas se extiende a la zona continental colombiana generando variaciones en la nubosidad y en las lluvias.

Las perturbaciones ondulares de la ZCIT son ondas que se presentan en ella generando fuertes precipitaciones con agrupaciones organizadas de nubes que tienen una longitud de cerca de 2000 km. El ciclo de estas formaciones nubosas puede variar entre tres y seis días.

#### Procesos Mesoescalares

En la zona costera se encuentran procesos de circulación mesoescalares como brisas mar-tierra que se manifiestan preferentemente durante el día, y brisas tierra-mar en horas de la noche. Dependiendo de las condiciones generadas por los sistemas de mayor escala (sinópticos), se desarrollan plenamente o se suprimen, con lo que se generan variaciones diarias del tiempo atmosférico en una franja paralela al litoral que puede alcanzar hasta 30 km de ancho sobre el mar y la tierra.

#### Procesos locales

Los procesos locales se presentan cuando la humedad es elevada generando un fuerte calentamiento diurno que produce procesos convectivos fuertes que dan origen a fenómenos como tormentas eléctricas, vendavales y granizo (Pabón *et al.* 2001b).

### Interacción océano-atmósfera en el mar Caribe colombiano

#### Oleaje

La dirección, el periodo y la altura del oleaje en la costa Caribe colombiana están directamente relacionados con el patrón de vientos; a mayor energía del viento se presenta mayor altura de la ola (Posada y Henao 2006). Durante la época seca de vientos fuertes en La Guajira las direcciones predominantes son este y este-norte, en esta zona la altura promedio es de 2,1 m, en la zona

central (Magdalena) el oleaje llega del noroeste y este y presenta una altura de 2,4 m, y en la zona sur el oleaje proviene del norte, noreste y noroeste con un importante componente sur y una altura de 2,3 m. Los valores van disminuyendo a medida que cambia la época climática; durante el periodo de transición el oleaje en la zona norte presenta valores promedio de 1,8 m, en la baja Guajira 2,0 m, frente al departamento del Magdalena 1,9 m y en la zona sur de 1,8 m (Invemar-ANH 2008).

Durante la época de lluvias se presentan los menores valores con una altura media de 1,7 m al norte de La Guajira y 1,8 m al sur de este departamento, 1,6 m en el Magdalena y 1,2 m en la región suroccidental. Así mismo, durante el periodo junio - noviembre el paso de los huracanes produce trenes de oleaje que generan algunas elevaciones importantes del nivel del mar (Andrade-Amaya 2000).

#### Mareas

La mayor parte del mar Caribe presenta un valor medio mareal menor de 20 cm. Únicamente en la parte continental de Nicaragua y en el extremo suroriental del Caribe el rango mareal excede 40 cm. En la región sur de Puerto Rico, Haití y en la Cuenca de Venezuela se presenta un rango medio mareal menor de 10 cm. La marea tiene influencia en el proceso costero, especialmente en las corrientes de los estuarios y las bahías. Para el Caribe colombiano la marea presenta un rango mareal entre 20 y 30 cm y rara vez excede los 50 cm, por lo que no es significativa en cuanto a su contribución a la variabilidad de las corrientes oceánicas de la zona (Wiedemann 1973, Kjerfve 1981, Morales 2004).

La marea en el Caribe colombiano es mixta diurna, es decir, se presenta una pleamar (elevación) y una bajamar (descenso) durante un día, y mixta semidiurna cuando se presentan dos pleamares y dos bajamares (uno más alto y más bajo que el otro) durante un día. Estos patrones se presentan con cierta irregularidad (Kjerfve 1981, Andrade-Amaya 2003). Según Morales (2004) en Car-

tagena e Islas del Rosario la marea es mixta diurna y en San Andrés es mixta semidiurna.

### Surgencia

En la zona norte del mar Caribe colombiano frente al departamento de La Guajira durante la época seca de vientos Alisios se presenta un movimiento ascendente de aguas subsuperficiales llamado surgencia, ocasionado por la fricción del viento sobre la capa superficial (transporte de Ekman) (Corredor 1979, Fajardo 1979, Álvarez-León *et al.* 1995, Andrade-Amaya y Barton 2005). Esta surgencia ocurre prácticamente durante todo el año, siendo más fuerte en la época seca de vientos y menor en la época de lluvias. En algunas ocasiones se generaliza a lo largo de la costa colombiana desde La Guajira hasta Punta Canoas (Bolívar) (Ramírez 1983, Andrade-Amaya 2000, Cañón y Santamaría 2003). En la época seca la surgencia costera presenta dos centros de intensidad máxima donde los Alisios son más veloces y frecuentes, uno al norte y al oeste del cabo de La Vela en el departamento de La Guajira y otro frente al cabo de La Aguja entre el límite oriental del Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT) y el Rodadero en Santa Marta.

En La Guajira los fuertes vientos desplazan la capa superficial penetrando hasta una profundidad de 150 m, alterando la estratificación superficial del Caribe colombiano (Andrade-Amaya y Barton 2005). Las aguas superficiales son reemplazadas por aguas profundas provenientes de la masa de Agua Subsuperficial Subtropical (Wüst 1964, Hernández-Guerra y Joyce 2000). Esta masa de agua se caracteriza por presentar valores de temperatura entre 22 y 25 °C, salinidad entre 36,7 y 37,0 y clorofila a entre 0,5 – 3,5  $\mu\text{g l}^{-1}$  (Manjarres *et al.* 2005, Bula-Meyer 1985, Duarte 1996). Según Corredor (1979) y Blanco (1988) la surgencia de La Guajira es considerada oligotrófica debido a que las concentraciones de nutrientes ( $\text{NO}_3^-$ ) se encuentran alrededor de 2,4  $\mu\text{M}$ , estos valores son considerados bajos en comparación con los registrados para las surgencias de Perú-Chile y África con valores de 20 y 14  $\mu\text{M}$  respectivamente.

En el departamento del Magdalena Franco-Herrera (2005) y Franco-Herrera y Arévalo-Martínez (2008) registraron durante la época seca de 2006, para la Ensenada de Gaira, eventos de surgencia ocasionados por el transporte de Ekman y la acción de los vientos continentales con velocidades entre 3,0 y 6,0  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , fuerza suficiente para desplazar la capa superficial del agua. A nivel superficial se encontraron valores de temperatura de 26,1 °C, salinidad de 36,0 oxígeno disuelto de 4,0  $\text{mg l}^{-1}$ , nitratos de 9,48  $\mu\text{M}$  y concentraciones de biomasa fitoplanctónica (clorofila a) entre 0,54 y 9,6  $\mu\text{g l}^{-1}$  que sugieren un incremento moderado de fertilización de las aguas costeras del área a causa del ingreso a la capa superficial del Agua Subsuperficial Subtropical, lo que hace pensar que el evento local es mesotrófico.

### Descargas continentales

En la región norte del Caribe colombiano, desde La Guajira hasta el Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT), las aguas costeras están influenciadas por las descargas de los ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta, principalmente el río Ranchería, con un caudal mínimo promedio de 2,5  $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  en época seca (enero – marzo) y máximo de 43,5  $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  en época lluviosa (octubre y noviembre). Las descargas continentales en el resto del área son aportadas por el río Atrato, río Sinú, Canal del Dique, la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) y el río Magdalena el cual aporta un caudal promedio de 7100  $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  y 185 millones de toneladas de sedimentos al año (principalmente en suspensión) (Invemar 2006, Posada y Henao 2006). Las aguas frente al departamento del Magdalena reciben la influencia del delta exterior del río Magdalena en toda su extensión, en Bocas de Ceniza como en la Boca de la Barra (CGSM) en su parte más suroccidental; estas aguas se encuentran llenas de plumas turbias que viajan con la corriente oceánica. La zona sur del mar Caribe colombiano recibe, principalmente, la influencia de los ríos Sinú y San Jorge, por lo cual es común encontrar en estas aguas del Caribe parches de aguas turbias y material de origen continental como vegetación flotante (*Eichornia crassipes*), palos y basura entre otros materiales (Invemar-ANH 2008).

## OCEANOGRAFÍA

El mar Caribe es un mar semicerrado, rodeado por las masas de tierra de América del Sur y América Central y separado del océano Atlántico por las dorsales asociadas al arco de las islas Antillas. Con base en la topografía de su fondo marino se divide en cinco cuencas: Granada, Venezuela, Colombia, Caimán y Yucatán. Estas cuencas están separadas entre sí por cuatro elevaciones del fondo marino conocidas como dorsales. La Dorsal de Caimán separa las Cuencas de Yucatán y Caimán; la Dorsal de América Central (también conocida como Dorsal de Jamaica) entre las Cuencas Caimán y Colombia; la Dorsal de Beata entre las Cuencas Colombia y Venezuela; y la Dorsal de Aves entre las cuencas de Venezuela y Granada (Figura 2). De estas cuencas las principales son: la Cuenca de Venezuela en el Caribe oriental al norte de Venezuela, la Cuenca Caimán en el Caribe occidental y la Cuenca de Colombia en el Caribe central y suroccidental. Esta última es delimitada por Colombia, América central y el oriente de Honduras. La Cuenca de Colombia ocupa alrededor del 40% del mar Caribe. Las condiciones oceánicas de esta área han sido muy poco estudiadas en comparación a la región oriental del Caribe. La variación de la circulación de la cuenca de Colombia es entendida solo a escala regional y se conoce poco a escala interanual y mesoescala (Wüst 1964, Gordon 1967, Andrade-Amaya 2000).

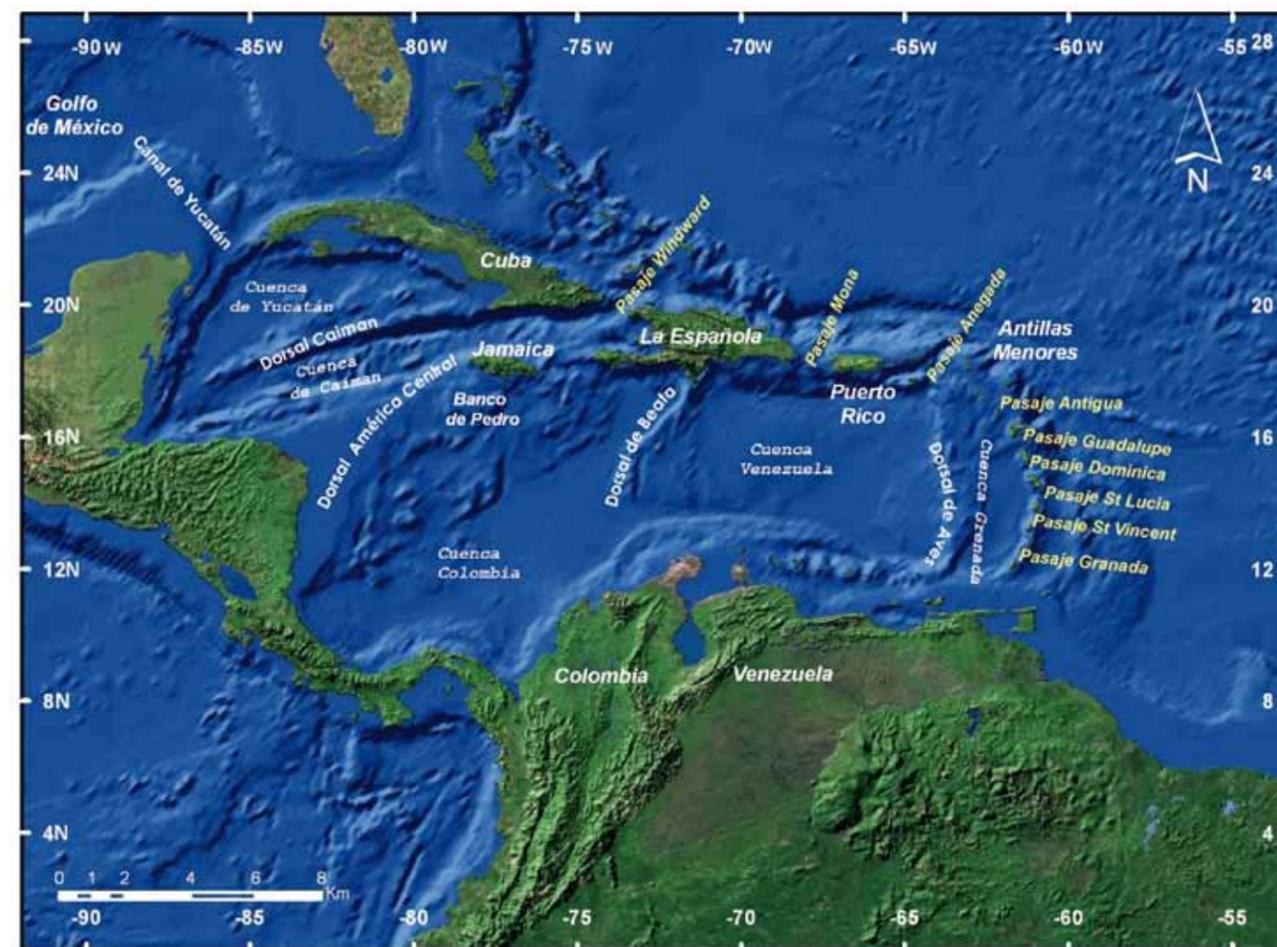


Figura 2. Mapa geomorfológico del Mar Caribe (Modificado de Wüst 1964 y Morrison y Nowlin 1982)

El área que ocupa el mar Caribe colombiano cubre aproximadamente 540876 km<sup>2</sup> con una línea de costa de 1760 km que se extiende desde cabo Tiburón en límites con Panamá hasta la península de La Guajira en límites con Venezuela. El mar Caribe colombiano presenta una diferenciación entre los sectores suroccidental y nororiental debido a las interacciones océano-atmósfera cuando predominan los vientos Alisios del nororiente (Bernal *et al.* 2006). El sector suroccidental se caracteriza por presentar condiciones típicas de mares tropicales, se extiende desde el golfo de Urabá en límites con Panamá hasta la desembocadura del río Magdalena, incluyendo la zona del Archipiélago de San Andrés y Providencia. El sector nororiental presenta condiciones oceanográficas estacionales similares a aguas subtropicales, comprende la zona desde el oriente de la desembocadura del río Magdalena, hasta la punta de la península de La Guajira (Botero y Álvarez-León 2000, Bernal *et al.* 2006).

### Corrientes en el mar Caribe

El sistema de corrientes marinas del mar Caribe hace parte del sistema de corrientes o giro del Atlántico Norte. Este sistema o giro está formado principalmente por la Corriente Ecuatorial Norte y la Corriente del Golfo (Figura 3). La Corriente Ecuatorial del Norte viene desde la costa de África en dirección oriente-occidente hasta las costas de Suramérica, en donde se une con la Corriente de Guyana (una corriente originada frente a las costas de Brasil por la división de la Corriente Ecuatorial Sur) para dirigirse hacia el mar Caribe. Cuando llega a los límites del mar Caribe esta corriente se divide en la Corriente de las Antillas y en la Corriente del Caribe. Esta última corriente transporta grandes volúmenes de agua hacia el mar Caribe, entrando a través del arco de las Antillas hacia el noroccidente, hasta cruzar por el canal de Yucatán hacia el Golfo de México. Cuando esta corriente sale del Golfo de México, se une a la corriente de las Antillas formando la Corriente del Golfo, la cual se dirige, con aguas más cálidas, hacia el océano Atlántico Norte (Gordon 1967, Molinari *et al.*

1981, Roemmich 1981, Hernández-Guerra y Joyce 2000, Johns *et al.* 2002).

Estudios realizados sobre los sistemas de circulación y transporte de agua entre el océano Atlántico y el mar Caribe han demostrado que la entrada de aguas hacia el mar Caribe se realiza a través de varios pasajes ubicados entre las islas que componen el arco de las Antillas, entre Cuba y Suramérica (Figuras 2 y 3). Las Antillas Menores representan una barrera que impide el libre intercambio de aguas entre el océano Atlántico y el mar Caribe. Las masas de agua transportadas por la Corriente de Guyana y por la Corriente Ecuatorial del Norte chocan contra esta barrera, haciendo que la entrada de agua al mar Caribe sea únicamente de las aguas superiores e intermedias del océano Atlántico; éstas últimas atraviesan los pasajes interinsulares caribeños a altas velocidades (Herrera y Febres-Ortega 1976, Herrera *et al.* 1980, Roemmich 1981, Morrison y Nowlin 1982, Wilson y Johns 1997, Johns *et al.* 2002).

El flujo de entrada total de agua hacia el mar Caribe es de aproximadamente 28 a 30 Sv (1 Sv = Sverdrup = 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> seg<sup>-1</sup>) y se ha calculado recientemente que es dividido entre los pasajes de las islas de barlovento (Granada, San Vicente y Santa Lucía) con aproximadamente 10 Sv, los pasajes de las islas de sotavento (pasajes de Dominica, Guadalupe, Antigua y Anegada) con aproximadamente 8 Sv y los pasajes de las Antillas Mayores (pasajes Mona y Windward) con cerca de 10 Sv (Figuras 2 y 3) (Roemmich 1981, Wilson y Johns 1997, Johns *et al.* 2002).

El flujo de agua que cruza el mar Caribe hacia el Golfo de México atraviesa la Dorsal de América Central, la cual es bastante alta, lo que hace que este flujo se confine y aumente su velocidad cuando pasa entre los bancos de Pedro, Bawihka y Rosalinda, entre otros. Los flujos de agua varían a través de cada pasaje y sus aportes varían en el tiempo. Existen algunos trabajos que describen el flujo de agua que entra al mar Caribe por los diferentes pasajes, pero falta mucho por estudiar sobre este tema. Aun no hay valores estimados del volumen

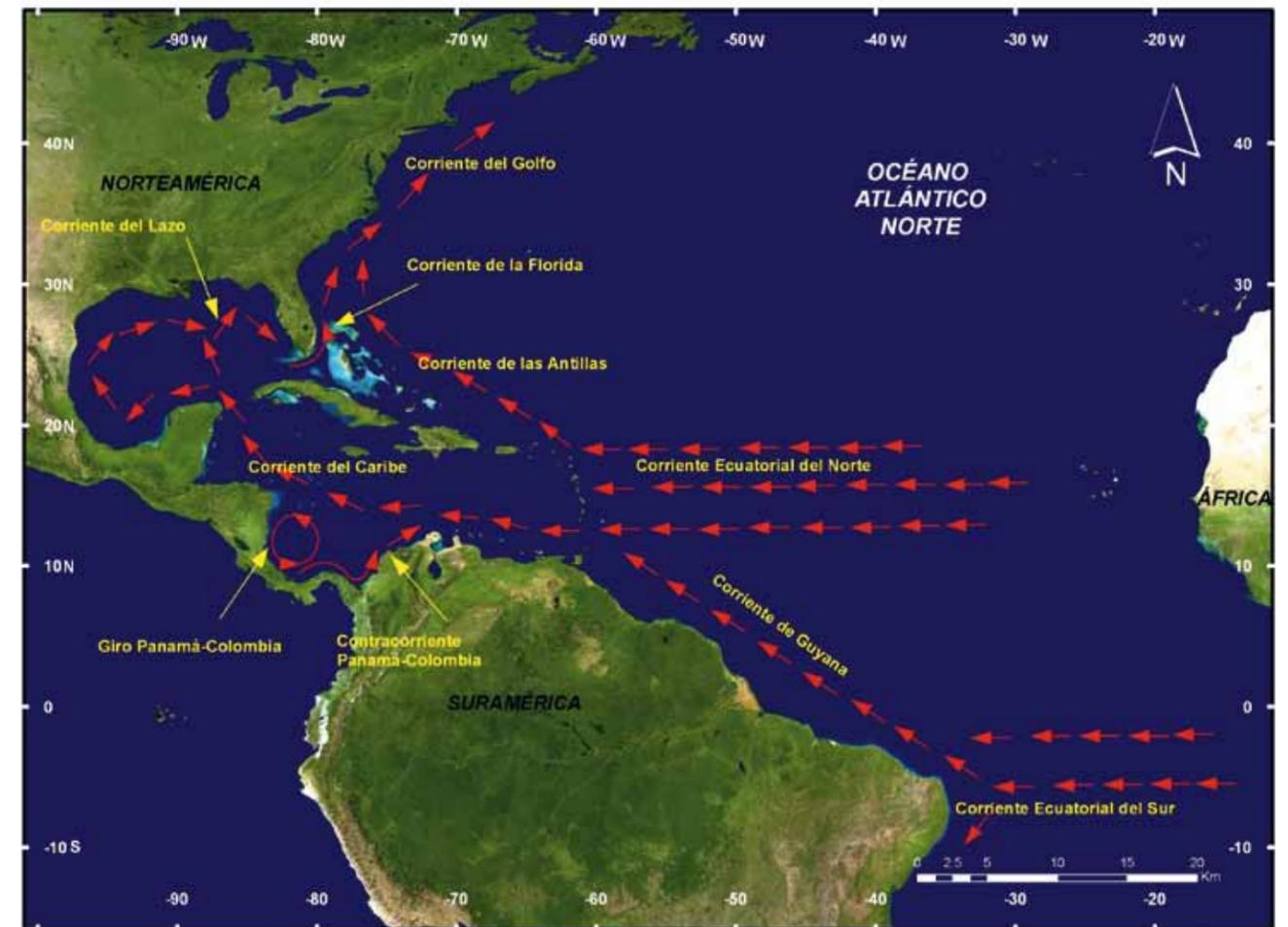


Figura 3. Mapa del mar Caribe describiendo el sistema general de corrientes marinas superficiales (Modificado de Andrade-Amaya 2001).

de agua que cruza desde la Cuenca de Colombia hacia la Cuenca Caimán. Actualmente, existe mucho interés en determinar la cantidad del agua que entra al mar Caribe (calculado en 30 Sv), cuanta pasa al Golfo de México y cuanta termina formando la Corriente de la Florida y la Corriente del Golfo, ya que estos sistemas están interconectados (Herrera y Febres-Ortega 1976, Herrera *et al.* 1980, Roemmich 1981, Morrison y Nowlin 1982, Wilson y Johns 1997, Johns *et al.*, 2002).

La principal fuente de energía para el movimiento en el mar Caribe, después del efecto de las corrientes Norecuatorial y de La Guayana, se deriva del viento. Los vientos Alisios que entran al mar Caribe desde el oriente-no-

roriente y oriente, son la fuerza motriz de las corrientes superficiales. Estos vientos afectan el agua directamente ejerciendo una fuerza por unidad de área en la superficie del mar, transmitiendo una fuerza que genera movimiento de la capa superficial hasta aproximadamente 100 a 300 m de profundidad (Gordon 1967, Herrera *et al.* 1980).

### Corrientes en el mar Caribe colombiano

Las corrientes en el mar Caribe colombiano están influenciadas, además de los vientos Alisios, por tres condiciones generales: la presencia de la Corriente del Caribe desde la superficie hasta aproximadamente 160 m de profundidad hacia el occidente, la Contracorriente

Panamá-Colombia hacia el oriente, con intensidades que varían con la profundidad, y la corriente profunda del Caribe que presenta un lento movimiento hacia el oriente sobre el talud y el fondo abisal (Andrade *et al.* 2003).

La presencia de los vientos Alisios crea un comportamiento de carácter estacional en las corrientes, determinando la aparición de áreas de surgencia de aguas subsuperficiales frente a La Guajira y la Sierra Nevada de Santa Marta, favorecidas por la dirección nororientesuroccidente de la línea de costa (Corredor 1979, Pujos *et al.* 1986, Blanco 1988, Corpes 1992, Álvarez-León *et al.* 1995, Andrade *et al.* 2003). La corriente superficial es inestable y en ella viajan remolinos que giran en forma ciclónica y anticiclónica y cuyos tamaños van desde varias decenas de kilómetros hasta cerca de 300 km de diámetro (Andrade-Amaya y Barton 2000).

El sistema de corrientes marinas en el área sur del mar Caribe Colombiano está dominado por la Contracorriente Panamá-Colombia y el giro Panamá-Colombia. Desde los primeros estudios en esta zona se ha registrado un flujo con dirección hacia el oriente, entre la Corriente del Caribe y la costa Caribe colombiana, que puede estar relacionado con un giro ciclónico que domina la Cuenca de Colombia. Según Andrade-Amaya (2001) esta cuenca es dominada por el sistema de circulación ciclónico conocido como el giro Panamá-Colombia, a partir del cual se desprende un brazo que forma la Contracorriente Panamá-Colombia. Esta contracorriente procede de Panamá y gira de modo ciclónico dentro del Golfo de Darién dirigiéndose hacia el oriente sobre las costas colombianas (Figura 3).

Dependiendo de la época del año, la Contracorriente Panamá-Colombia varía su extensión a lo largo de la costa colombiana. Durante la época seca esta corriente se extiende desde el golfo del Darién hasta cercanías a la desembocadura del río Magdalena. En la época de lluvias, cuando se disminuye el efecto de los vientos Alisios, esta contracorriente se extiende hasta la Península

de La Guajira (Pujos *et al.* 1986, Corpes 1992, Andrade y Barton 2000, 2005, Bernal *et al.* 2006).

Un importante evento que se observa en esta región es el efecto de la Contracorriente Panamá-Colombia sobre la dirección de las aguas del río Magdalena que desembocan al mar Caribe. En época seca la mancha de sedimentos suspendidos en aguas superficiales que aporta el río Magdalena se dirige inicialmente paralela al eje de la desembocadura de este río, después de cierta distancia, esta mancha se dirige hacia el occidente. Este cambio de dirección se explica por la disminución de la Contracorriente Panamá-Colombia y por el fuerte efecto de los vientos Alisios del noreste y de la Corriente del Caribe hacia el occidente. En época de lluvias, esta mancha de sedimentos cambia de dirección y se dirige hacia el oriente, debido a la disminución de los vientos Alisios y al fuerte efecto de la Contracorriente Panamá-Colombia que en esta época se extiende hasta la península de La Guajira (Pujos *et al.* 1986).

### Masas de agua en el mar Caribe

El concepto de “masa de agua” es tomado de la meteorología, la cual clasifica diferentes características atmosféricas como “masas de aire”. Algunos oceanógrafos utilizan este concepto para definir la estratificación oceánica (estructura vertical), mientras que otros consideran que las masas de agua son simples descripciones de las propiedades del agua. La definición oceanográfica más aceptada es la dada por Dobrovolskii en 1961 (Boltovskoy 1981), según la cual una masa de agua es un volumen de agua de mar relativamente grande originado en un área determinada del océano (su origen) y caracterizada por la uniformidad casi permanente y continua de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, que integran un complejo que se distribuye como una unidad durante un largo período. El conocimiento sobre las corrientes profundas del océano ha sido inferido a partir del estudio de las propiedades del agua como la temperatura, la salinidad, el oxígeno disuelto

y los nutrientes. Debido a la propiedad conservativa de la temperatura y la salinidad, estas variables han sido utilizadas para identificar y describir las masas de agua a través de gráficas, siendo la más utilizada el diagrama temperatura-salinidad o T-S con isopícnas, el cual relaciona la densidad del agua a los valores de temperatura y salinidad. Los oceanógrafos han definido las características de las principales masas de agua y su distribución geográfica a nivel mundial. Las masas de agua se han dividido en aguas abisales o de fondo (> 4000 m), profundas (aprox. 1200 m – 4000 m), intermedias (aprox. 500 m – 1000 m) y superficiales-subsuperficiales (0 m – 300 m), con base en esta división y su lugar de origen a las masas de agua se les ha dado el nombre específico (Boltovskoy 1981, Emery 2001).

Las aguas oceánicas en mares tropicales tienden a presentar una estratificación vertical definida, formando una superposición de capas que se diferencian principalmente por su densidad. Las capas superficiales normalmente son más cálidas y menos densas que las que se encuentran en la profundidad. La estructura vertical del agua del mar Caribe presenta una marcada estratificación en los primeros 1200 m de profundidad, con una débil estratificación entre 1200 m y 2000 m y con condiciones muy homogéneas por debajo de los 2000 m. Las características de las aguas entre la superficie y 1200 m de profundidad son similares a las encontradas en el océano Atlántico. Por debajo de los 1200 m las aguas del Caribe y del Atlántico no presentan concordancia debido a que la profundidad de los pasajes entre las Antillas Menores es ligeramente inferior a 1200 m, lo cual evita el intercambio de aguas por debajo de esa profundidad (Gordon 1967, Febres-Ortega y Herrera 1976).

La distribución vertical de la temperatura en aguas del mar Caribe presenta un pronunciado gradiente, con aguas cálidas en superficie extendiéndose a través de la capa de mezcla hasta la parte superior de la termoclina (100 a 200 m de profundidad). La presencia de esta marcada termoclina en el mar Caribe impide la mez-

cla vertical de aguas, lo que hace que la capa superficial permanezca con aguas de mayor temperatura. A partir de la termoclina, entre los 100 y 1000 m de profundidad, existe un marcado gradiente en la disminución de la temperatura. Por debajo de los 1000 m, este gradiente disminuye y por debajo de los 1500 m la temperatura del agua es de alrededor de 4°C, variando muy poco entre las cuencas del mar Caribe (Wüst 1964, Gordon 1967).

La distribución vertical de la salinidad presenta variación de sus valores en los primeros 1000 m superficiales. Después de esta profundidad, los valores de salinidad se estabilizan presentando mayores valores que en la superficie. Las mayores salinidades a nivel superficial se encuentran hacia el oriente del mar Caribe, en la zona de las Antillas Menores, debido a que por esta zona entra el agua del océano Atlántico (con mayor salinidad) hacia el mar Caribe. En la parte occidental del Caribe la salinidad es menor por la dilución del agua de mar, debido a la mayor precipitación y aporte de aguas dulces de los ríos que desembocan en esta zona (Gordon 1967, Febres-Ortega y Herrera 1976, Herrera *et al.* 1980).

Las masas de agua que entran al mar Caribe se originan en los océanos Atlántico norte y Atlántico sur. El agua del Atlántico sur se identifica por presentar menor salinidad y mayor oxígeno disuelto en comparación con las aguas del Atlántico norte, de igual densidad (Wilson y Johns 1997). Wüst (1964) con base en el método del núcleo, realizó una gráfica donde correlacionó temperatura vs. salinidad (T/S) con datos tomados en el mar Caribe y determinó la presencia del núcleo de cinco masas de agua. Estas masas de agua las identificó como: núcleo del Agua Superficial (del Caribe), núcleo del Agua Subsuperficial Subtropical, núcleo del Agua Subantártica (Antártica) Intermedia y núcleo del Agua Profunda del Atlántico Norte.

Según Morrison y Nowlin (1982) varios investigadores han determinado para el mar Caribe oriental, a nivel vertical, seis masas de agua, las cuales clasificaron como:

1. El Agua Superficial del Caribe se presenta hasta los 50 a 75 m de profundidad y se caracteriza por tener valores de salinidad menores de 35,5 y por la presencia de aguas dulces. Esta masa de agua se forma por la mezcla de aguas superficiales del Atlántico Norte, aguas del río Amazonas y Orinoco, precipitación, surgencias y por la desembocadura de los ríos de la zona.

2. El Agua Subsuperficial Subtropical, se origina en el Atlántico tropical central, se encuentra debajo del Agua Superficial del Caribe, entre los 50 y 200m, y se identifica por presentar un núcleo de máxima salinidad ( $> 37$ ) entre los 150 y 200 m.

3. El Agua del Mar de los Sargazos de 18°C es caracterizada por un máximo de oxígeno y se encuentra entre 200 y 400 m de profundidad.

4. El Agua Central del Atlántico Tropical se encuentra entre los 400 y 600 m de profundidad y se evidencia por un mínimo en la concentración de oxígeno disuelto y por tener valores intermedios de salinidad-temperatura entre el Agua Central del Atlántico Norte (de mayor salinidad) y el Agua Central del Atlántico Sur (de menor salinidad).

5. El Agua Antártica Intermedia está relacionada con la presencia de un mínimo de salinidad entre 600 y 900 m de profundidad y por un máximo relativo en la concentración de silicato, fosfato y nitratos.

6. El Agua Profunda del Atlántico Norte dentro del Mar Caribe es caracterizada por un máximo de salinidad entre 1100 y 1600 m de profundidad, con valores bajos en la concentración de fosfato, silicato y nitrato.

Así mismo, Morrison y Nowlin (1982) encontraron que la masa de Agua Subsuperficial Subtropical entra al mar Caribe a través del norte de las Antillas Menores, el Agua del Mar de los Sargazos de 18 °C por el Pasaje de las Antillas Mayores, y el Agua Central del Atlántico

Tropical y el Agua Antártica Intermedia entran a través del sur de las Antillas Menores. Las Aguas Profundas del Atlántico Norte ingresan a la Cuenca de Venezuela a través del Pasaje Anegada-Jungfem y por la Cuenca de Colombia entre Jamaica y La Española (Figura 2).

### Masas de agua en el mar Caribe colombiano

Los estudios de caracterización de las masas de agua en el mar Caribe colombiano son escasos. La descripción de las masas de agua presentadas en Corpes (1992), Urbano (1993), Giraldo (1994) y Andrade-Amaya (2000) varían al describir las características, la profundidad y el número de las capas que se presentan a nivel superficial, contrario a las capas más profundas donde estos autores concuerdan en sus resultados. Dicha situación demuestra la variabilidad e inestabilidad de las masas de agua en las capas superiores de la columna de agua, causada principalmente por la interacción océano - atmósfera y por el aporte de aguas de origen continental.

Según el trabajo de Urbano (1993) realizado sobre dos transectos oceánicos paralelos a la línea de costa Caribe colombiana, la estratificación vertical del agua para el Caribe colombiano está constituida por cinco masas de agua.

1. La primera capa corresponde al Agua Superficial del Caribe que se ubica hasta una profundidad promedio de 30 m con temperaturas entre 27,0 °C y 28,5 °C y salinidad entre 35,1 y 36,1.

2. A continuación se localiza el Agua Subtropical de espesor variable y de alta salinidad, que ocupa profundidades no mayores a 150 m. Los primeros 100 m de profundidad presentan variaciones de temperatura y salinidad debido a la interacción océano-atmósfera.

3. La tercera capa por debajo de los 100 m corresponde al Agua Central del Atlántico Norte, localizada entre 100 y 400 m de profundidad; es una zona donde la temperatura y la salinidad disminuyen.

4. La siguiente capa corresponde al Agua Intermedia Antártica con un valor de salinidad de 34,8 y se ubica entre 450 y 680 m de profundidad, en las estaciones ubicadas al suroccidente; en la zona intermedia de la costa colombiana alcanza profundidades mayores a 1300 m y en las estaciones ubicadas al nororiente no se determinó su presencia.

5. La última capa que se registra es el Agua Profunda del Atlántico Norte con profundidades mayores a 800 m al suroccidente, en la zona nororiente se encuentra entre 450 y 1100 m de profundidad y para la zona intermedia de la costa colombiana no se observa.

Este autor determinó que el Agua Intermedia Antártica presenta una mayor mezcla con el Agua Profunda del Atlántico, comparada con el Agua Central del Atlántico Norte.

El estudio de los sistemas de corrientes y de la estratificación de las masas de agua es un importante tema en

el estudio de las comunidades marinas. Cada corriente o masa de agua se caracteriza por sus condiciones fisicoquímicas y por las comunidades biológicas que están asociadas a ellas. El desplazamiento de las aguas oceánicas determinan el intercambio de nutrientes, características fisicoquímicas y organismos a través de los diferentes sistemas marinos. Muchos de estos sistemas de corrientes y masas de agua determinan la productividad y biodiversidad de los ecosistemas y de las condiciones climáticas regionales a lo largo de planeta.

## CARACTERIZACIÓN DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS EN EL MAR CARIBE COLOMBIANO

La información presentada a continuación se registró durante las exploraciones oceanográficas ANH I (mayo-junio de 2008) y ANH II (octubre-diciembre de 2009). Se tomaron datos en 32 estaciones (13 en ANH I y 19 en ANH II) distribuidas de nororiente a suroccidente

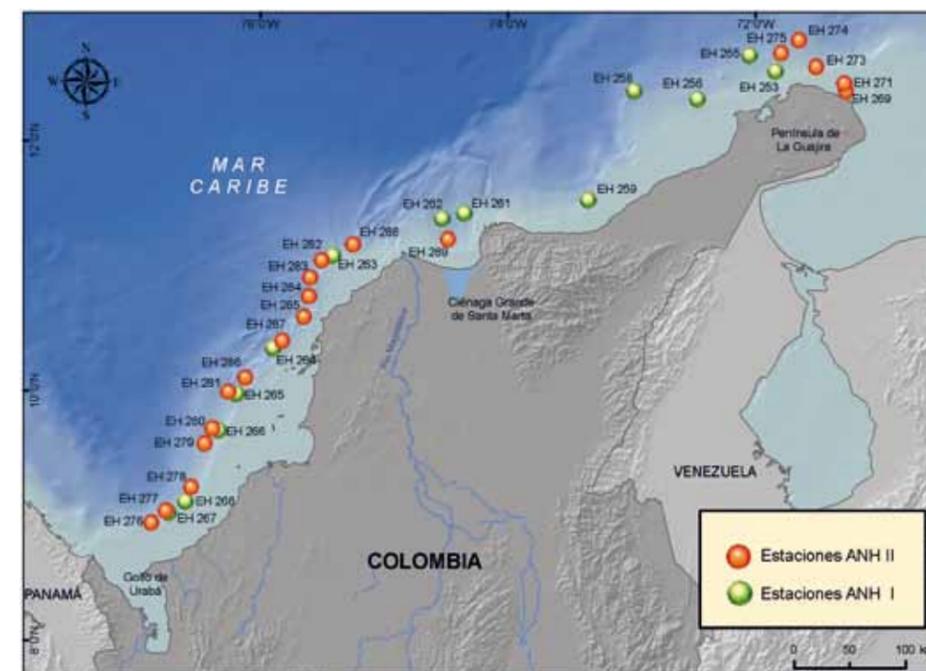


Figura 4. Ubicación de las estaciones donde se realizó la toma de datos oceanográficos con la CTD durante las exploraciones oceanográficas ANH I (mayo-junio de 2008) y ANH II (octubre-diciembre de 2009) en el Caribe colombiano.

en aguas oceánicas frente a la costa Caribe colombiana (Figura 4). Los valores de las variables fisicoquímicas fueron tomados con una sonda multiparámetros Idronaut Ocean Seven 316plus CTD (Figura 5). El equipo fue programado para obtener datos de temperatura (°C), salinidad, conductividad ( $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) y oxígeno disuelto ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) cada 0,5 db de presión (1 db equivale a 0,98 m). En cada estación, al inicio de la toma de datos la CTD fue sumergida por diez minutos con el fin de aclimatar los sensores, pasado este tiempo se bajó hasta aproximadamente 50 m del fondo marino.

Los valores obtenidos fueron procesados por interferencia en la toma de datos con un filtro de alta frecuencia que suavizó las señales, la conductividad eléctrica que se transformó en salinidad y a partir de estos datos se calcularon los valores de la densidad ( $\sigma\text{-t}$ ), para su respectivo análisis. Finalmente, para cada variable se obtuvieron columnas de valores por metro. Los valo-



**Figura 5.** Sonda multiparámetros CTD (Conductividad, temperatura y profundidad) y roseta con botellas Niskin para toma de muestras de agua.

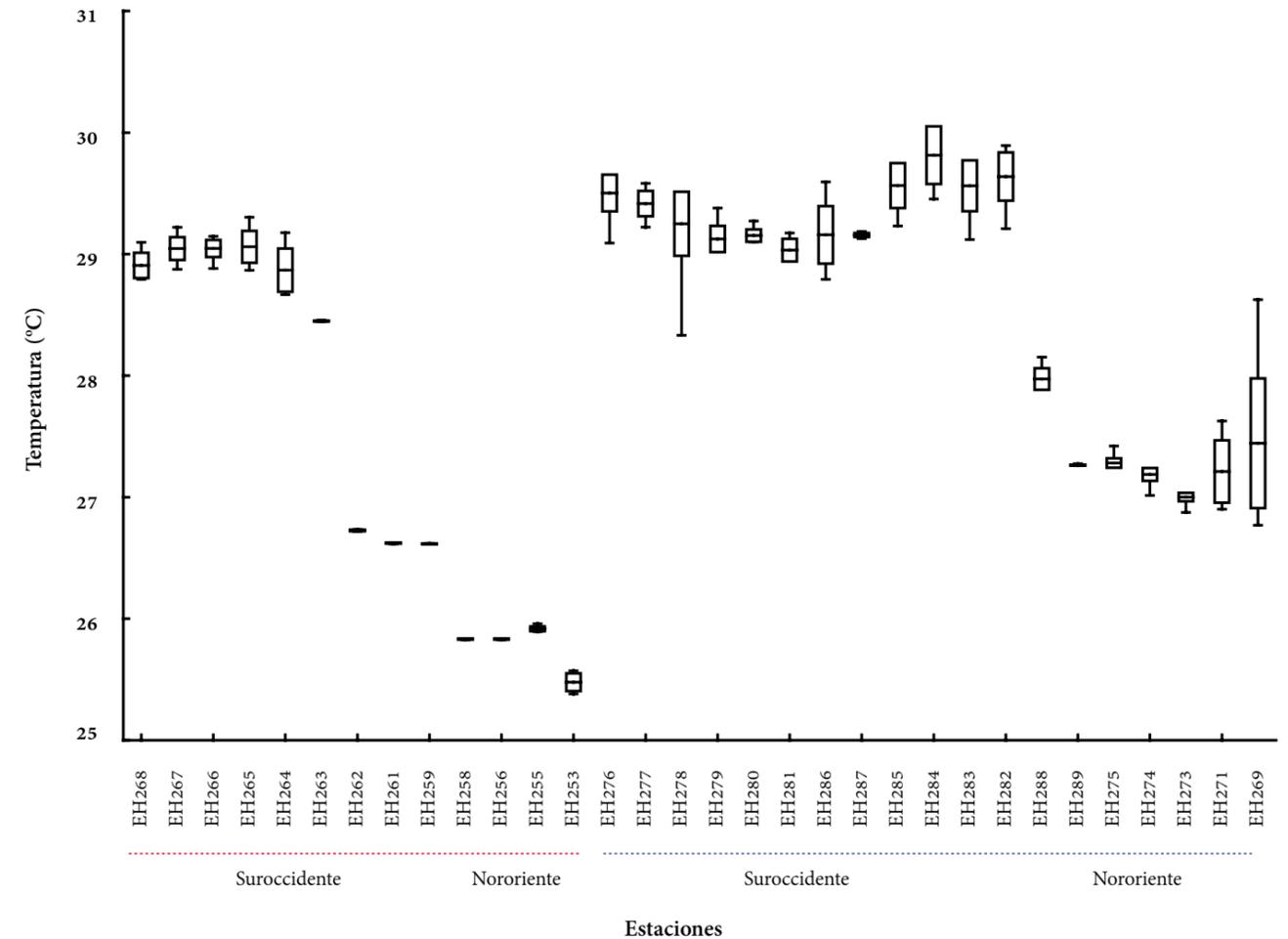
res promedio y la desviación estándar de cada variable se calcularon a nivel superficial con los datos obtenidos hasta los 15 m, esto con el fin de obtener una descripción de las condiciones oceanográficas superficiales. Para analizar los cambios de cada variable con la profundidad y para determinar las masas de agua presentes, se graficaron los perfiles verticales de temperatura (°C), salinidad, oxígeno disuelto ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) y densidad ( $\sigma\text{-T}$ ), así como diagramas T-S.

### Temperatura

El valor promedio de la temperatura superficial del agua de mar entre las estaciones evaluadas durante mayo-junio de 2008 fue de  $27,45\pm 1,44$  °C con valores que variaron entre  $25,48$  °C y  $29,06$  °C. La estación EH253 que presentó la menor temperatura se ubicó en el extremo nororiental, y las estaciones E265, EH266 y EH267 que registraron las mayores temperaturas, se ubicaron en el extremo suroccidental. En promedio, las estaciones ubicadas al nororiente (EH259, EH258, EH256, EH255 y EH253), en la zona de La Guajira, presentaron una disminución cercana a 2 °C en la temperatura superficial del agua (Figura 6).

Durante octubre-diciembre de 2009 el promedio de temperatura superficial fue de  $28,60\pm 1,04$  °C con un mínimo de  $27,00$  °C registrado en la zona nororiental frente a La Guajira (EH273) y un máximo de  $29,79$  °C en la zona centro frente al departamento de Bolívar (EH284). En la zona central y suroccidental se encontraron los valores de temperatura más altos, mientras que los más bajos se encontraron en la zona nororiental (Figura 6).

La temperatura superficial del mar mostró un gradiente suroccidente-nororiente, con aguas de mayor temperatura en las estaciones ubicadas al suroccidente de la costa Caribe colombiana y una disminución gradual hacia las estaciones ubicadas en el nororiente, frente al departamento de La Guajira. Esta marcada variación espacial en la temperatura superficial del agua de mar en el Caribe colombiano fue encontrada también por Bernal *et al.*



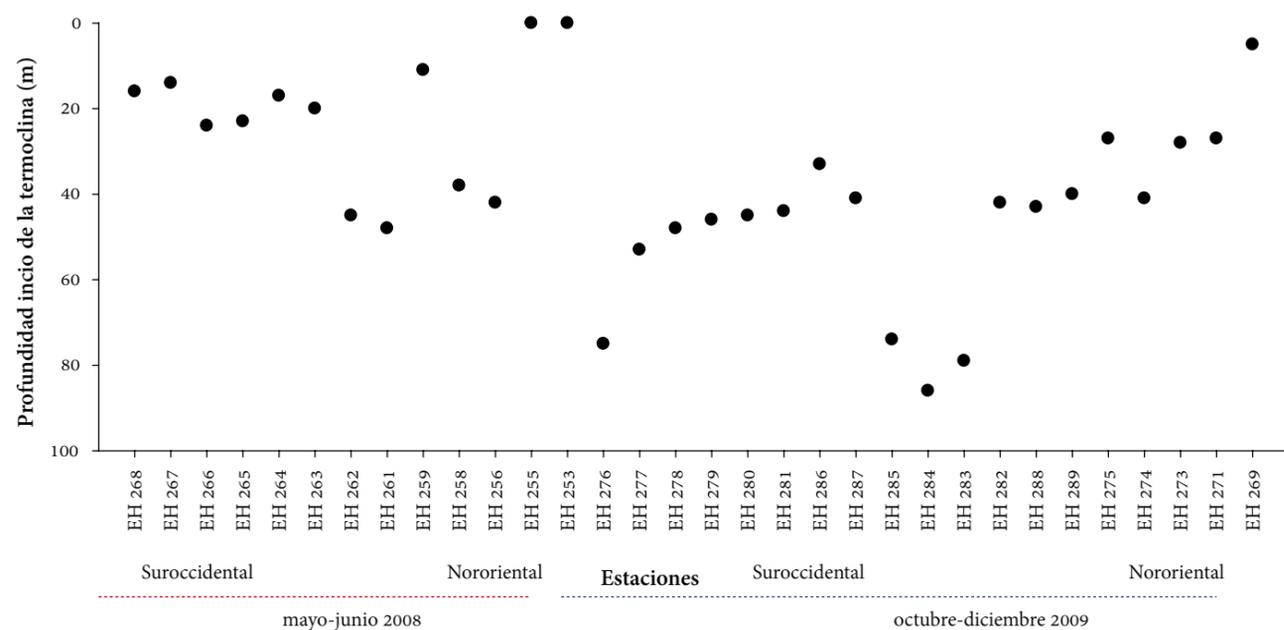
**Figura 6.** Temperatura promedio superficial (°C) calculada con los datos obtenidos hasta los 15 m de profundidad en cada estación evaluada durante los periodos de estudio. Línea roja: mayo-junio 2008. Línea azul: octubre-diciembre 2009. Las estaciones en la gráfica van de izquierda a derecha, representando su localización de nororiente a suroccidente en el Caribe Colombiano. — Media □ Media±SD ▮ Min-Max.

(2006), quienes explicaron este fenómeno por la influencia del giro Panamá-Colombia en la zona suroccidental y la surgencia de La Guajira en la zona nororiental.

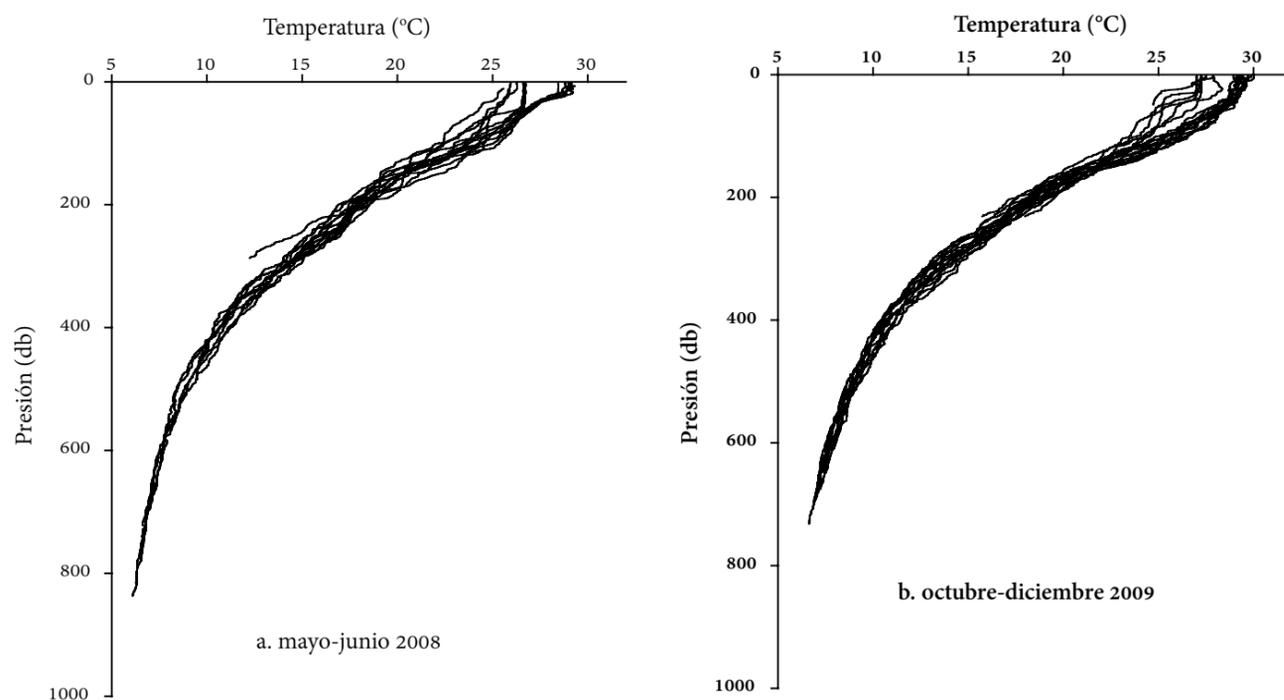
Durante mayo-junio de 2008 las estaciones que se encuentran cerca a la desembocadura del Río Magdalena (E261 y E262), presentaron la termoclina más profunda (Figura 7). En las estaciones ubicadas en la Península de La Guajira no se observó una termoclina muy definida, debido al posible surgimiento de aguas profundas hacia la superficie.

En el periodo octubre-diciembre de 2009 se observó una termoclina más profunda que durante mayo-junio de 2008. Los mayores valores se encontraron en las estaciones localizadas en la zona de influencia de la desembocadura del río Magdalena (EH284, EH283 y EH285). En la zona nororiental la termoclina fue más somera y en la zona suroccidental la termoclina tendió a ser más profunda.

Se encontró una variación espacial y estacional en la profundidad de la termoclina que podría ser explicada



**Figura 7.** Profundidad del inicio de la termoclina. Línea punteada roja: mayo-junio 2008. Línea punteada azul: octubre-diciembre 2009. Las estaciones en la gráfica van de izquierda a derecha, representando su localización de nororiente a suroccidente en el Caribe Colombiano.



**Figura 8.** Perfil vertical de la temperatura (oC) de cada una de las estaciones estudiadas en el Caribe colombiano. a. mayo-junio de 2008 y b. octubre-diciembre de 2009.

por la influencia de la radiación solar, el viento y las precipitaciones. De acuerdo con Stevart (2002) y Filonov *et al.* (2000) la radiación solar que aumenta la temperatura de la superficie del agua de mar genera un gradiente de densidad en las capas superficiales que tienden a la estratificación. Esta condición puede ser modificada por la fuerza del viento, al producir una turbulencia que mezcla la capa superficial, así como, por el aporte de agua dulce dado por la precipitación y las descargas continentales..

La presencia de la termoclina permanente representa una barrera física para la migración vertical de muchos organismos (ej. el plancton), además evita la mezcla de aguas superficiales con aguas profundas limitando el intercambio de nutrientes. La termoclina también podría estar asociada a una zona de máxima sedimentación. Las partículas en suspensión y la materia orgánica producida en superficie tienden a ir cayendo hacia el fondo de la columna de agua, cuando llegan a la termoclina su velocidad de sedimentación disminuye lo cual hace que se acumulen estas partículas en esta zona (Reynolds 2006, Kiorboe 2008).

En ambos periodos de estudio la temperatura en aguas oceánicas disminuyó con el aumento de la profundidad (Figura 8). En los primeros 200 m se observó que los perfiles verticales de temperatura presentaron un amplio rango de variación entre las estaciones muestreadas. En los 200 m todas las estaciones registraron valores cercanos a 18 °C con una tendencia similar en la disminución de sus valores. A los 400 m de profundidad la temperatura en las estaciones estuvo alrededor de 11 °C y se observó un cambio de pendiente, siendo menos pronunciada su disminución. Entre 600 y 800 m se encontró un cambio de temperatura de 7,5 °C a 6,3 °C (diferencia de 1,2 °C), indicando un leve descenso a esta profundidad.

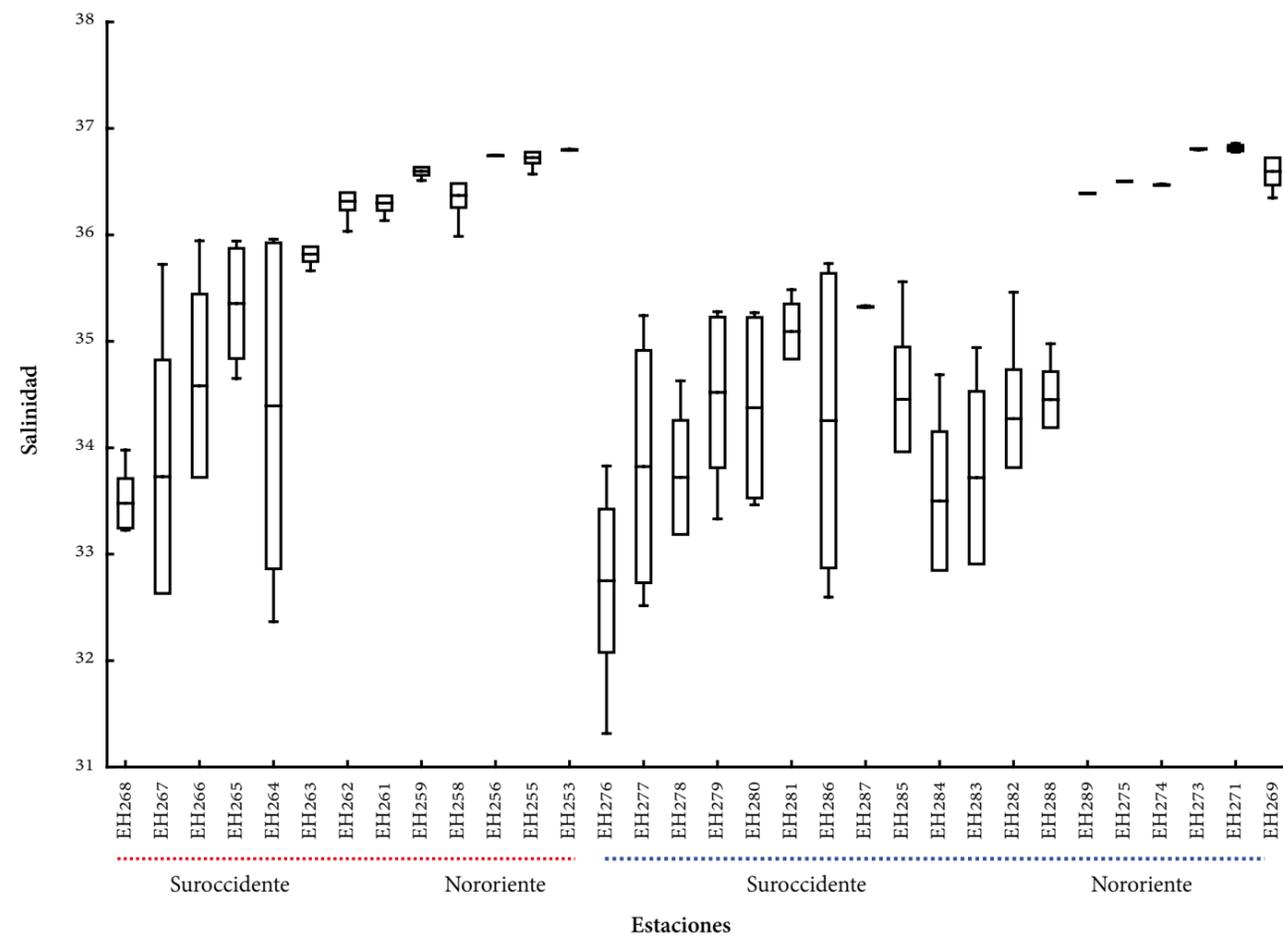
### Salinidad

En el periodo mayo-junio de 2008 la salinidad superficial presentó un valor promedio de  $35,63 \pm 1,20$  con un mínimo de 33,48 en la estación EH268 (ubicada al suroccidente) y un máximo de 36,80 en la estación EH253 (ubicada al nororiente). Estos datos mostraron un marcado gradiente en la salinidad con los mayores valores en la zona nororiente y una disminución hacia la zona suroccidental (Figura 9).

La salinidad superficial durante octubre-diciembre de 2009 obtuvo un valor promedio de  $34,98 \pm 1,25$  que varió entre 32,83 en la estación EH276 (ubicada al suroccidente) y 36,82 en la estación EH271 (ubicada al nororiente). En general los datos mostraron un gradiente con salinidades más altas en la zona nororiental, y una marcada disminución, a partir de la estación EH288, hacia la zona suroccidental (Figura 9).

Los valores de salinidad entre las dos épocas evaluadas presentaron la misma tendencia (Figura 9). Los valores más altos se observaron al nororiente del Caribe colombiano disminuyendo hacia el centro y suroccidente. La disminución de salinidad en este sector se explica por las descargas de los ríos en ese sector, como el río Magdalena, el Sinú y el Atrato. Las aguas más frías y de mayor salinidad observadas en la zona nororiente, en la zona de La Guajira, demuestran la presencia de aguas de surgencia.

En el perfil vertical de la salinidad la capa superficial presentó una alta variación entre las diferentes estaciones evaluadas; a medida que se profundizó en los primeros metros, la salinidad aumento hasta un valor máximo para después empezar a disminuir (Figura 10). Los bajos registros de salinidad en la superficie junto con una haloclina muy superficial en las estaciones ubicadas al suroccidente, se pueden explicar por el mayor aporte de aguas de origen continental y/o la mayor precipitación en esta zona. Al comparar las estaciones ubicadas en el suroccidente, con las ubicadas al nororiente,



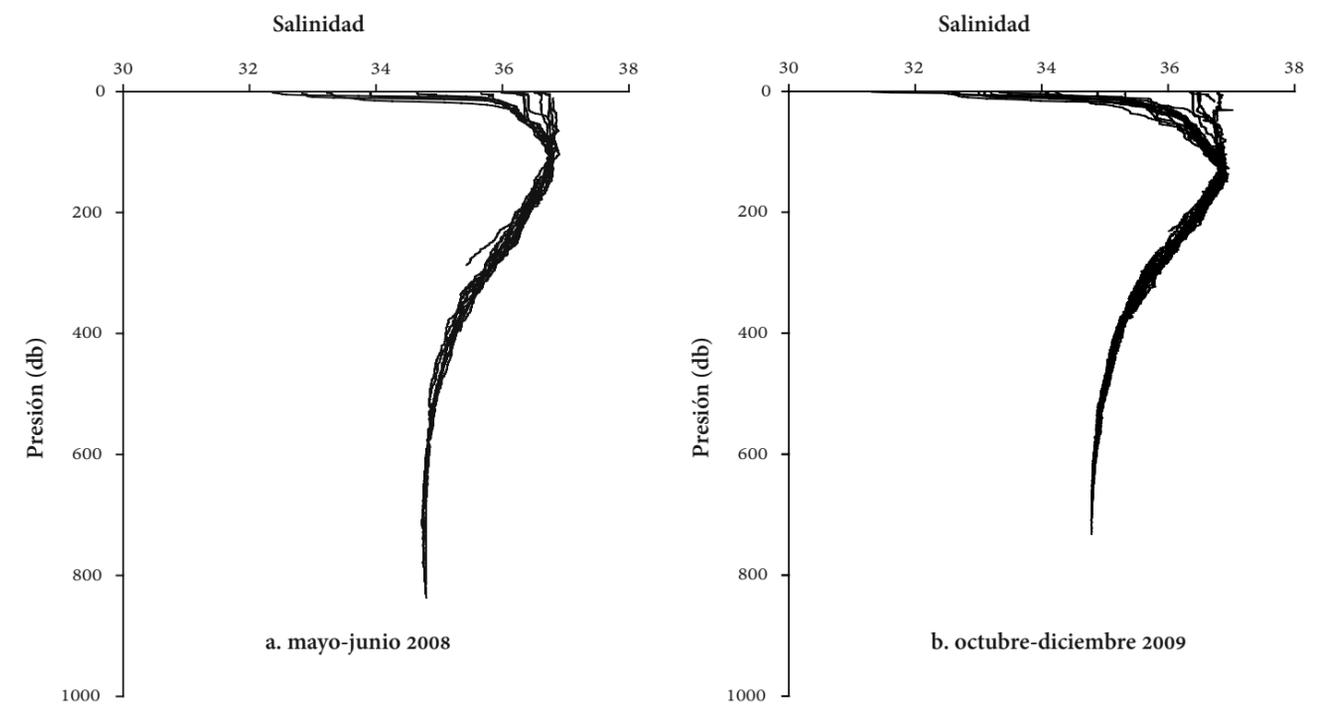
**Figura 9.** Salinidad superficial promedio calculada con los datos obtenidos hasta los 15 m de profundidad en cada estación evaluada durante los periodos de estudio. Línea roja: mayo-junio 2008. Línea azul: octubre-diciembre 2009. Las estaciones en la gráfica van de izquierda a derecha, representando su localización de nororiente a suroccidente en el Caribe Colombiano. — Media | Media±SD | Min-Max.

estas últimas presentaron en la capa superior valores de salinidad más altos y con poca variación con la profundidad. Este resultado es explicado por el afloramiento o surgencia de aguas profundas de mayor salinidad hacia la superficie.

Entre los 100 y 140 m se presentaron en la mayoría de las estaciones los valores de salinidad más altos de toda la columna de agua con un valor cercano a 36,8. A partir de esta profundidad la salinidad presentó la misma tendencia en las estaciones evaluadas, disminuyendo hasta 34,8 a los 600 m. Después de los 600 m y hasta los 900 m los valores se estabilizaron alrededor de 34,7.

### Oxígeno disuelto (mg.l<sup>-1</sup>)

La concentración promedio de oxígeno disuelto durante mayo-junio de 2008 fue de 6,84±0,17 mg.l<sup>-1</sup> con un mínimo de 6,62 mg.l<sup>-1</sup> en la estación EH266 (suroccidente) y un máximo de 7,19 mg.l<sup>-1</sup> en la estación EH253 (nororiente). Se observó un fuerte aumento en la concentración de oxígeno desde la estación EH259 hasta la estación EH253, en el área de La Guajira (Figura 11). Hacia el suroccidente de la estación EH259 se presentó un ligero aumento del oxígeno disuelto el cual fue sostenido entre las estaciones EH261, EH262 y EH263,



**Figura 10.** Perfil vertical de la salinidad de cada una de las estaciones estudiadas en el Caribe colombiano. a. mayo-junio de 2008 y b. octubre-diciembre de 2009.

sector de la desembocadura del río Magdalena. Después de esta zona los valores de oxígeno presentaron una disminución hacia las estaciones del suroccidente. Este resultado podría estar indicando la presencia de aguas superficiales más oxigenadas hacia el nororiente de la costa Caribe colombiana.

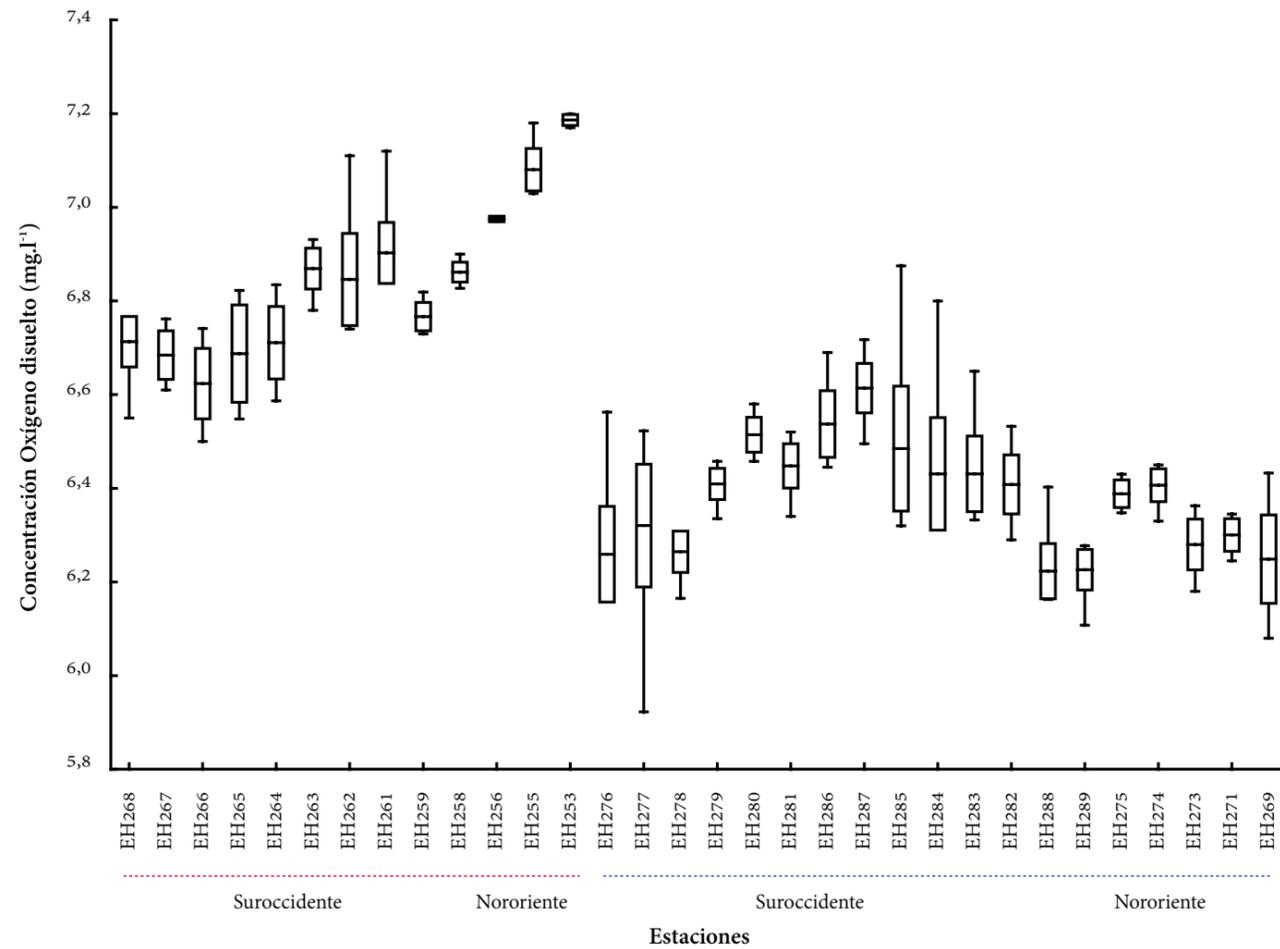
En el periodo octubre-diciembre de 2009 la concentración promedio de oxígeno disuelto superficial fue de 6,38 ± 0,12 mg.l<sup>-1</sup>, con un mínimo en la estación EH288 de 6,22 mg.l<sup>-1</sup> y un máximo en la EH287 de 6,62 mg.l<sup>-1</sup>. En la zona suroccidental, a partir de las estaciones EH288 y EH289, se observó hacia el sur un aumento en la concentración de oxígeno, alcanzando un máximo en la EH287. Después de esta estación los valores de oxígeno tendieron a disminuir hasta la estación EH276 (Figura 11).

Las concentraciones de oxígeno registradas en el periodo octubre-diciembre de 2009 fueron menores a las registradas en mayo-junio de 2008. Durante este últi-

mo periodo se observó una tendencia suroccidente-nororiente en el aumento del oxígeno disuelto, tendencia que no se observó en octubre-diciembre de 2009.

La concentración de oxígeno disuelto en las estaciones estudiadas presentó una pendiente irregular con la profundidad, los valores más altos se encontraron entre la superficie y los 50 m (Figura 12). Esta zona está relacionada con la entrada de oxígeno de origen atmosférico y la producción de oxígeno principalmente por actividad de organismos fotosintéticos (Reynolds 2006). Entre los 50 y 150 m se presentó una disminución en la concentración de oxígeno. Esta zona demarca un consumo de oxígeno causado por la respiración de organismos, la descomposición de materia orgánica y la actividad bacteriana (Lalli y Parsons 1997, Reynolds 2006).

Después de los 150 m la concentración de oxígeno presentó un ligero aumento y entre 200 y 250 m de profundidad se observó otro pico de oxígeno aunque de

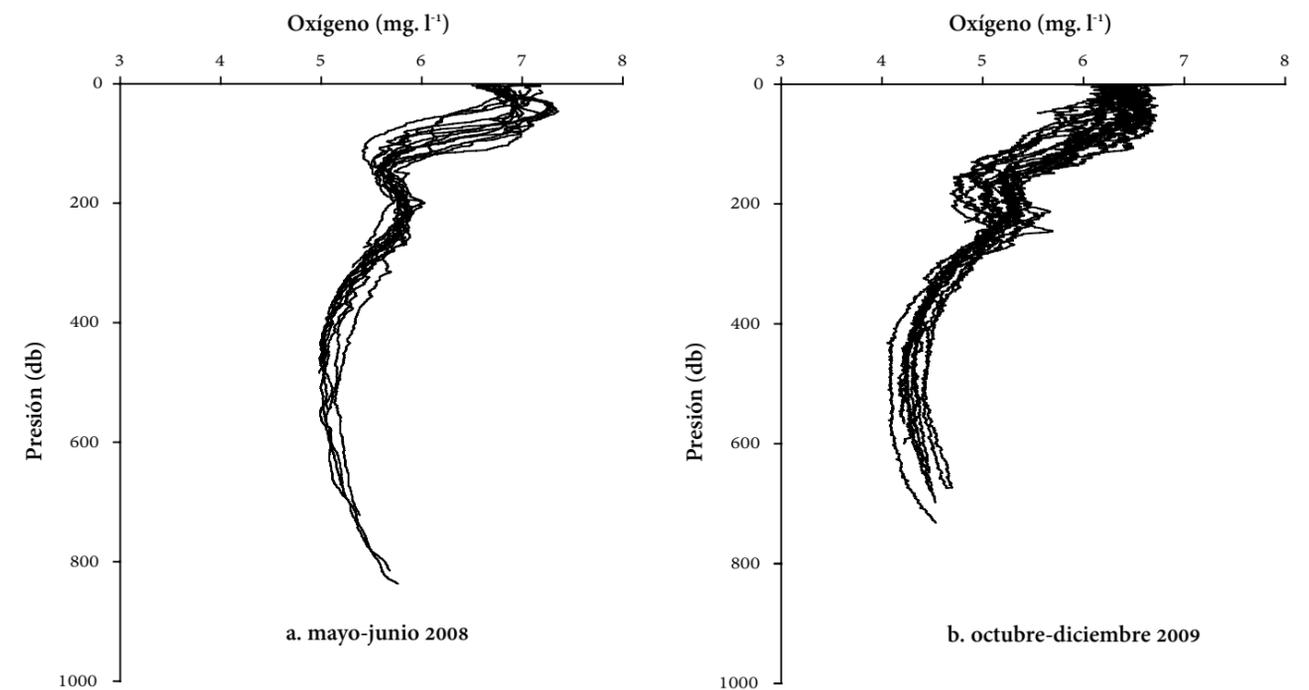


**Figura 11.** Concentración superficial promedio de oxígeno disuelto ( $\text{mg.l}^{-1}$ ) calculada con los datos obtenidos hasta los 15 m de profundidad en cada estación evaluada durante los periodos de estudio. Línea roja: mayo-junio 2008. Línea azul: octubre-diciembre 2009. Las estaciones en la gráfica van de izquierda a derecha, representando su localización de nororiente a suroccidente en el Caribe Colombiano. — Media  $\square$  Media  $\pm$  SD  $\top$  Min-Max.

menor valor en comparación con el máximo superficial. Este ligero aumento a esta profundidad, con una temperatura aproximada de  $18^\circ\text{C}$ , puede estar indicando la presencia del Agua del Mar de los Sargazos de  $18^\circ\text{C}$  (Morrison y Nowlin 1982). A partir de los 200 – 250 m el oxígeno presentó una nueva disminución hasta los 600 m en las estaciones evaluadas hasta estas profundidades. Este mínimo de oxígeno localizado alrededor de los 500 m es registrado en todo el mar Caribe y coincide con las isotermas entre  $8^\circ\text{C}$  y  $9^\circ\text{C}$ , las isohalinas entre 34,9 y 35,0 y con el límite superior de la capa de Agua Intermedia Antártica (Wüst 1964). Pasando esta

profundidad se presentó un ligero aumento de la concentración del oxígeno disuelto.

Este tipo de distribución vertical del oxígeno se describe para cuerpos de agua estratificados (Lalli y Parsons 1997). En este estudio, la distribución vertical del oxígeno disuelto permite inferir que en las capas superiores la concentración de oxígeno presenta una heterogeneidad entre estaciones. Estas capas están más influenciadas por la interacción océano-atmósfera, efectos biológicos (e.g. fotosíntesis y respiración) y las condiciones físicas y químicas. A mayores profundidades el oxígeno es más



**Figura 12.** Perfil vertical de la concentración de oxígeno disuelto ( $\text{mg.l}^{-1}$ ) de cada una de las estaciones estudiadas en el Caribe colombiano. a. mayo-junio de 2008 y b. octubre-diciembre de 2009.

homogéneo entre las estaciones y es determinado por las condiciones de las masas de agua presentes.

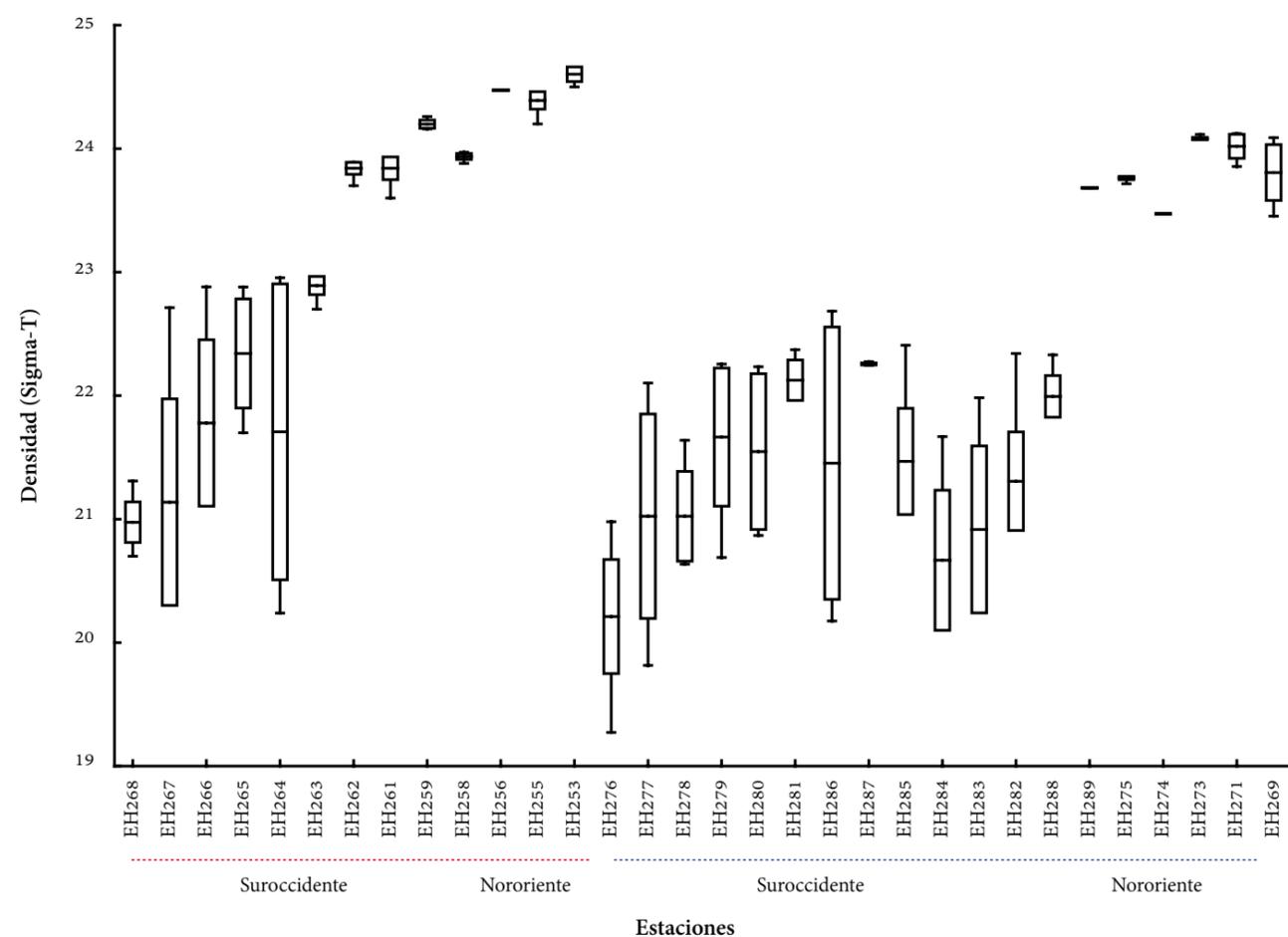
### La densidad ( $\sigma\text{-T}$ ) del agua de mar

En mayo-junio de 2008 la densidad superficial presentó un valor promedio de  $23,09 \pm 1,34$  con un mínimo de 20,97 en la estación E268 (suroccidente) y un máximo de 24,60 en la estación E253 (nororiente). Estos valores demostraron el marcado gradiente de la densidad del agua de mar superficial con los valores más altos en la zona nororiental y una disminución hacia la zona suroccidental (Figura 13). Esta observación confirmó, en la zona nororiente de la costa Caribe colombiana, la surgencia hacia la superficie del Agua Subsuperficial Subtropical, la cual presenta una alta densidad. Este fenómeno de surgencia se ha explicado por el efecto que tienen los vientos Alisios, que van paralelos a la costa de La Guajira, sobre las aguas superficiales del mar Caribe (Andrade y Barton 2005). Hacia el suroccidente

los bajos valores de densidad se pueden explicar por la presencia de aguas dulces provenientes de los ríos Magdalena, Atrato y Sinú.

En octubre-diciembre de 2009 la densidad superficial presentó un valor promedio de  $22,19 \pm 1,26$  con un mínimo de 20,27 en la estación EH276 y un máximo de 24,08 en la estación EH273. Al igual que el periodo anterior se observó un gradiente nororiente – suroccidente. (Figura 13).

El perfil vertical de la densidad del agua de mar mostró una marcada formación de las picnoclinas en las estaciones ubicadas en la zona suroccidental. Este resultado se puede explicar por la presencia de aguas continentales en la superficie, que se confirma con los bajos registros de salinidad en esta área. Hacia la zona nororiente, en las estaciones sobre la península de La Guajira, no se determinó una marcada picnoclina debido al fenómeno de afloramiento del Agua Subsuperficial. Las curvas de



**Figura 13.** Densidad superficial promedio del agua de mar (sigma-T) calculada con los datos obtenidos hasta los 15 m de profundidad en cada estación evaluada durante los periodos de estudio. Línea roja: mayo-junio 2008. Línea azul: octubre-diciembre 2009. Las estaciones en la gráfica van de izquierda a derecha, representando su localización de nororiente a suroccidente en el Caribe Colombiano. — Media | Media ± SD | Min-Max.

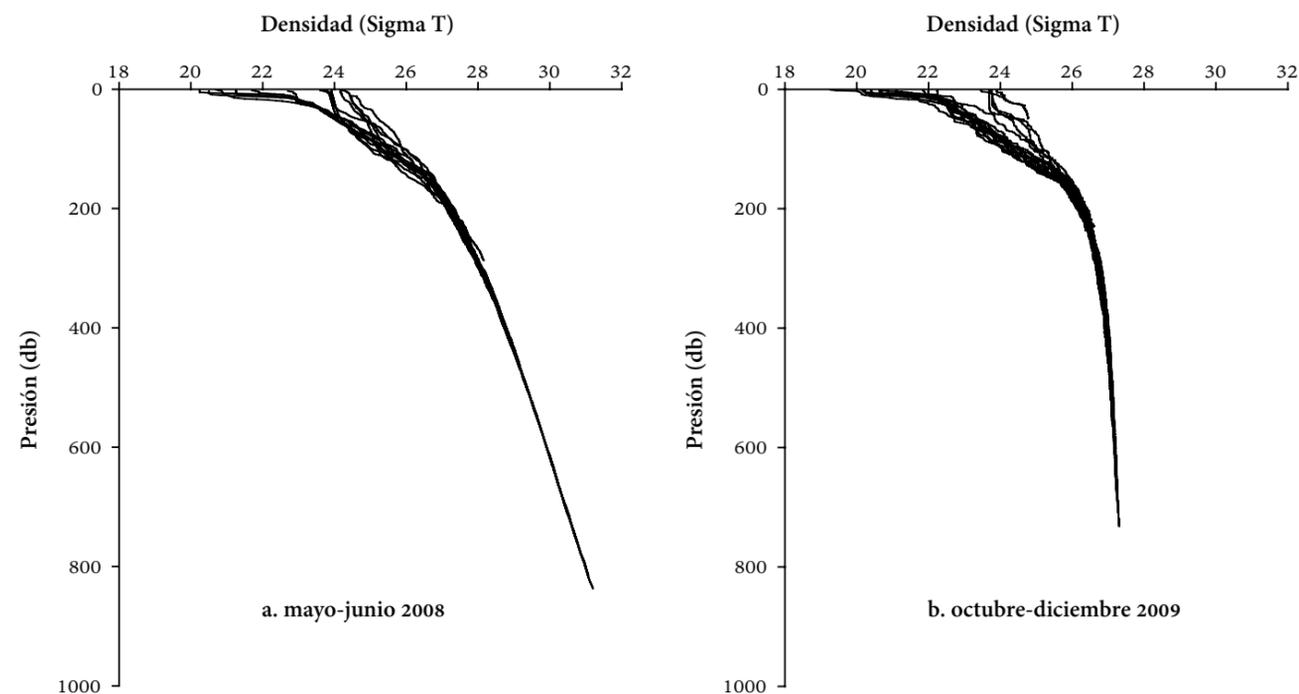
densidad mostraron que la picnoclina responde principalmente a la capa de mezcla producida por el viento en la zona nororiente y la variación de salinidad producida por el agua continental en las estaciones del suroccidente (Figura 14).

La similitud en las condiciones fisicoquímicas de la columna de agua a grandes profundidades demostró la homogeneidad de la columna de agua a lo largo del mar Caribe colombiano, puesto que después de los 200 m no se observaron grandes cambios entre los parámetros evaluados en cada estación.

A nivel superficial se observó una gran diferencia de las variables evaluadas entre las estaciones ubicadas en la zona nororiental y la zona suroccidental, con una marcada variación en las principales variables que caracterizaron el agua superficial marina. Las aguas hacia el suroccidente presentaron una fuerte influencia de aguas continentales y las aguas hacia el nororiente exhibieron una marcada influencia de aguas de surgencia.

### Análisis de la relación T-S y las masas de agua

La identificación de las masas de agua es un importante tema de estudio en la oceanografía debido a que ofre-



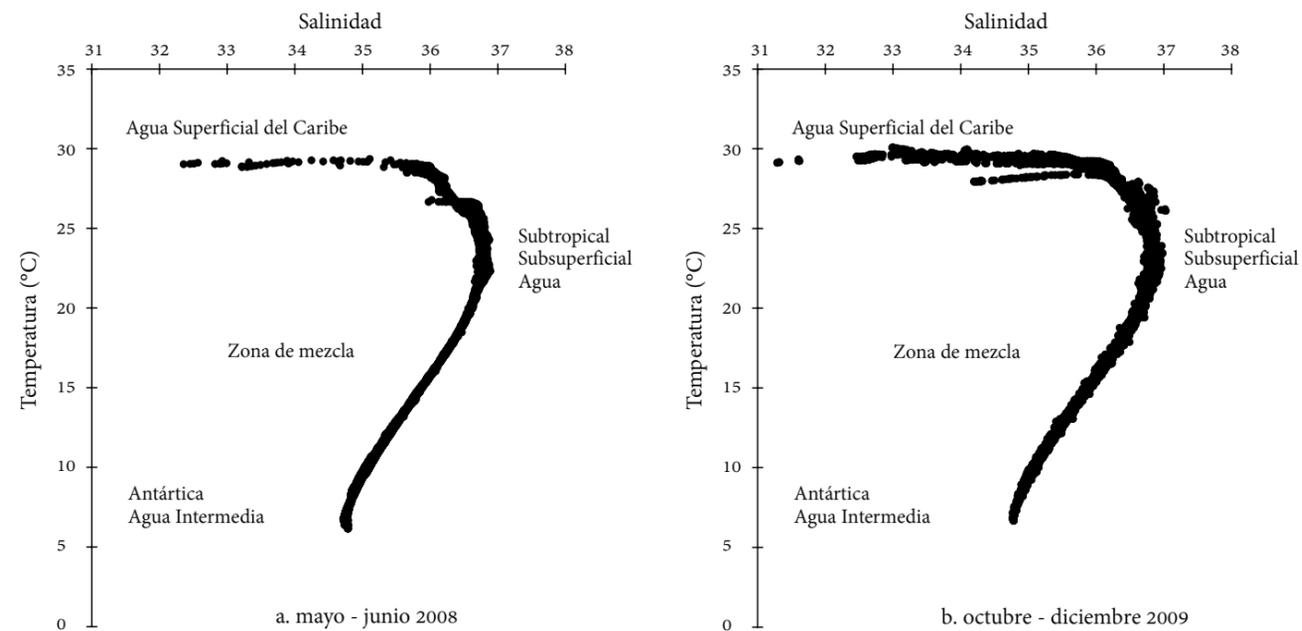
**Figura 14.** Perfil vertical de la densidad (sigma-T) de cada una de las estaciones estudiadas en el Caribe colombiano a. mayo-junio de 2008, b. octubre-diciembre de 2009.

cen información sobre el lugar de origen de la misma y sobre la circulación oceánica profunda. El sistema de corrientes superficiales generalmente sigue los grandes sistemas de corrientes o giros oceánicos, mientras que las corrientes profundas transportan agua en dirección nororiente-suroccidente llevando aguas más frías al Ecuador y viceversa. En general, estas masas y sus flujos a través de los océanos contribuyen al transporte neto de energía desde el Ecuador hacia las zonas polares; además se transportan nutrientes, fauna y flora (Boltovskoy 1981, Emery 2001).

El océano está caracterizado por una serie de capas de agua de distintos espesores distribuidas verticalmente. Cada masa de agua se origina en aguas superficiales en una región particular generada por las condiciones climáticas de la misma. Estas llevan las características de esa región a los niveles correspondientes a sus densidades, donde es posible determinarla a cierta profundidad (Boltovskoy 1981).

Para la identificación y caracterización de las masas de agua presentes en las estaciones evaluadas, se realizó una gráfica T-S donde se relacionaron los datos de temperatura y salinidad tomados en las estaciones de este estudio. La Figura 15 permite reconocer las principales masas de agua presentes en la columna de agua de las estaciones muestreadas en 2008 y 2009 en el mar Caribe colombiano. Se observa la presencia del Agua Superficial del Caribe, Agua Subsuperficial Subtropical y el Agua Intermedia Antártica.

El Agua Superficial del Caribe presentó alta variabilidad en los valores de salinidad confirmando la fuerte influencia de aguas continentales y de fenómenos atmosféricos como la precipitación. Esta capa se encontró hasta una profundidad de aproximadamente 30 m con temperaturas entre 28 °C y 29 °C y salinidades entre 32 y 36. A continuación se encontró el Agua Subsuperficial Subtropical que actualmente se reconoce como la misma Agua Central del Atlántico Norte. Morrison y Nowlin



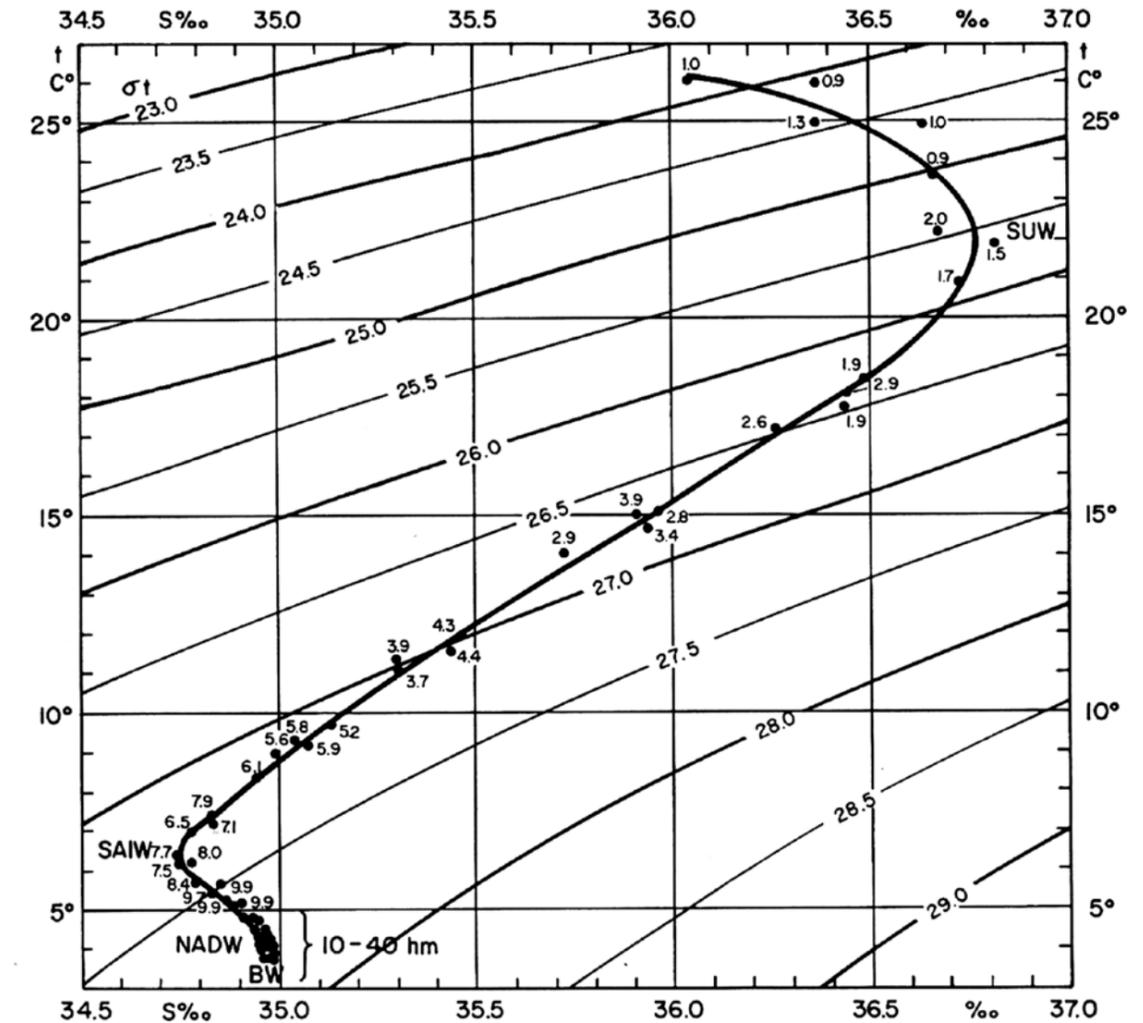
**Figura 15.** Diagrama T-S, a partir de los datos tomados en las 32 estaciones estudiadas en los periodos estudiados a. Mayo-junio de 2008 y b. octubre-diciembre de 2009. Con esta grafica se determinaron los núcleos de las principales masas de agua presentes en el Caribe colombiano.

(1982) reconocen la existencia de esta última masa de agua, pero Wüst (1964) no la identifica (Figura 16).

En varios trabajos los autores han identificado esta masa de agua en sus gráficas T-S como la zona de mezcla entre el Agua Subsuperficial Subtropical y el Agua Intermedia Antártica, como se observó en este estudio. Por tanto, en este estudio, al igual que en el trabajo de Wüst (1964), solo se identificó al Agua Subsuperficial Subtropical. El Agua Subsuperficial Subtropical en la gráfica se reconoce por un máximo de salinidad cercano a 37 con una temperatura de 24 °C, lo que la hace más densa, razón por la cual se ubicó por debajo de las aguas superficiales. Su núcleo o centro de la masa de agua, reconocido por su máximo de salinidad se encontró cerca de los 100 m de profundidad en las estaciones del suroccidente, y cerca de los 50 m en las estaciones del nororiente, sobre la península de La Guajira. Su alta salinidad se debe a su lugar de origen en la región Subtropical del Océano Atlántico. Debido a la baja precipitación atmosférica y a la alta evaporación en dicha zona,

se forman aguas superficiales con una alta salinidad (Boltovskoy 1981). Esta masa de agua es la que aflora en los fenómenos de surgencia sobre la costa nororiente del Caribe colombiano (Corredor 1979).

A continuación, entre los 300 y 800 m, se encontró el Agua Intermedia Antártica que se distingue en la gráfica por un mínimo de salinidad alrededor de 34,7 y un mínimo de temperatura cercano a 6,5 °C. Además, también se determinó por la presencia de un mínimo en la concentración del oxígeno disuelto como se observó en los anteriores resultados. Por debajo de esta última masa de agua se produjo un nuevo aumento de la salinidad que caracteriza al Agua Profunda del Atlántico Norte. En este estudio, la toma de muestras no se llevó a mayores profundidades necesarias para determinar el Agua Profunda del Atlántico Norte. Sin embargo, al final de la gráfica se puede observar un leve aumento de la salinidad, que podría indicar el inicio de la presencia de esta masa de agua.

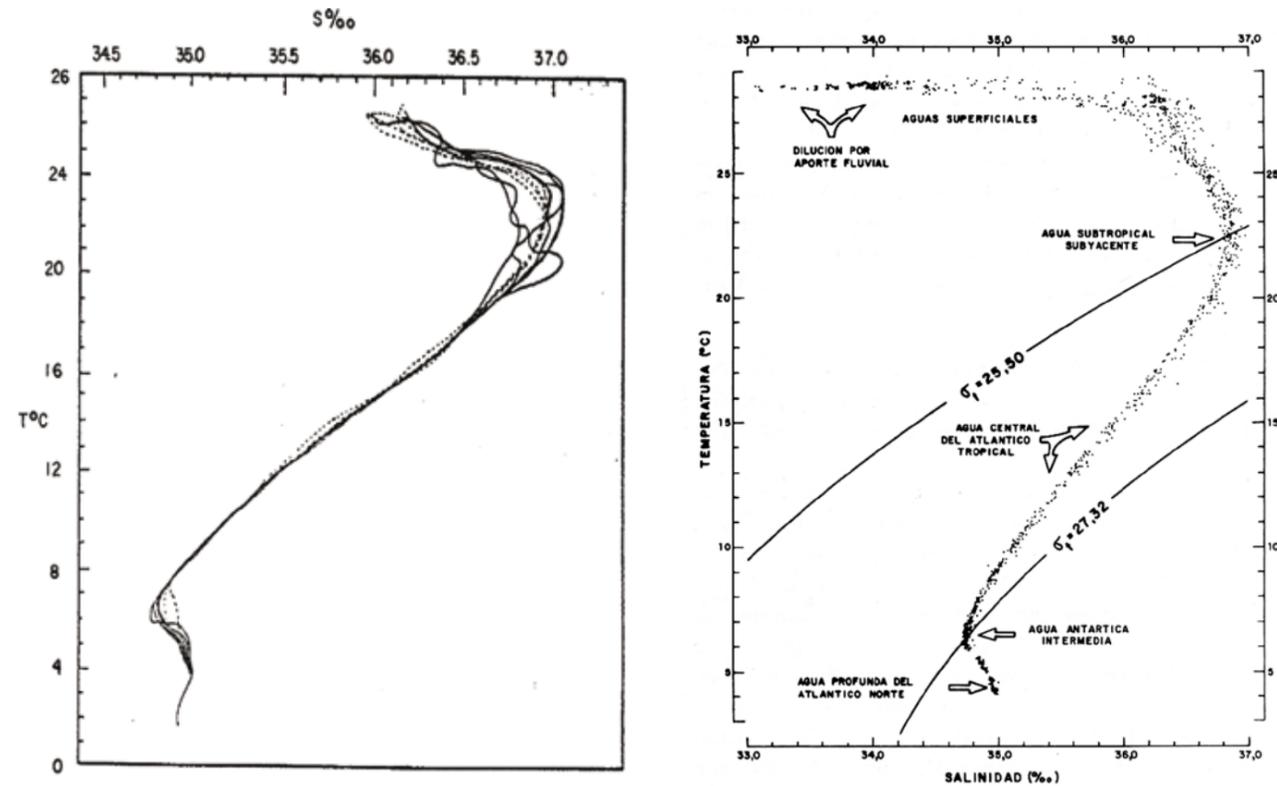


**Figura 16.** Diagrama T-S con isopícnas de las masas de agua presentes en el mar Caribe (Tomado de Wüst, 1964). BW: Agua profunda NADW: Agua Profunda del Atlántico Norte; SAIW: Agua Intermedia Subantártica; SUW: Agua Subtropical. Subsuperficial.

Urbano (1993) y Giraldo (1994) en el mar Caribe colombiano y Herrera *et al.* (1980) para el mar Caribe venezolano determinaron las mismas masas de agua que el presente estudio, al graficar la distribución vertical de los puntos de temperatura y salinidad de todas las estaciones. Las curvas T-S presentadas por dichos autores (Figura 17) son muy similares a la Figura 16, descrita para el presente estudio. Según Urbano (1993), este tipo

de curvas T-S corresponden al diagrama característico para el área del Caribe colombiano y a la vez concuerdan con la forma del diagrama T-S generalizado de las masas de agua del Océano Atlántico Norte, según el estudio y clasificación de las masas de aguas oceánicas realizado por Stepanov en 1964.

La baja densidad y bajos valores de salinidad de las aguas superficiales que descansan sobre aguas más pe-



**Figura 17.** Diagramas T-S realizados a partir de datos tomados en aguas del Caribe colombiano por Urbano (1993) (a) y en aguas del Caribe venezolano por Herrera *et al.* (1980) (b).

sadas, origina una haloclina bien marcada que evita la ocurrencia de procesos de mezcla vertical entre el Agua Superficial del Caribe y el Agua Subsuperficial Subtropical. Esta marcada estratificación a nivel superficial es más fácilmente observada en las estaciones ubicadas al suroccidente donde se presenta un mayor aporte de aguas de origen continental. Situación contraria es lo que sucede en el nororiente, sobre la península de La Guajira, donde esta haloclina no es tan marcada debido a una mayor salinidad a nivel superficial, por la presencia del fenómeno de surgencia en esta zona.

Los organismos marinos son sensibles a pequeños cambios en las condiciones ambientales durante su vida o parte de ella. La salinidad y la temperatura son variables que afectan la vida de muchas especies, en especial de las oceánicas, las cuales presentan rangos de tolerancia muy estrechos para estas variables. Según varios estu-

dios, los cuerpos de agua con diferentes características, como las masas de agua, presentan ambientes favorables para distintos organismos que son propios de esas condiciones. Por lo tanto, una caracterización biológica puede ayudar en la identificación y delimitación de masas de agua, determinando su origen, dirección y el volumen de sus corrientes. Además, las masas de agua y las corrientes pueden determinar el aislamiento y las rutas que puede dar origen a la especiación de los organismos (Johnson y Brinton 1963, Lalli y Parsons 1997, Herring 2002).

## CONCLUSIONES

Las variables oceanográficas evaluadas a nivel superficial demuestran una diferenciación entre las estaciones ubicadas en la zona nororiental y las estaciones ubica-

das en la zona suroccidental. Se puede concluir que las estaciones en la zona nororiental se caracterizan por presentar aguas superficiales con mayor salinidad, más oxígeno, más densas y de menor temperatura que las estaciones ubicadas hacia la zona suroccidental.

Los perfiles verticales de las variables oceanográficas evaluadas demuestran una estratificación en la columna de agua típica de mares tropicales, formando una superposición de capas siendo las capas superficiales normalmente más cálidas y menos densas que las que se encuentran en la profundidad.

Con base al análisis del diagrama T-S se determinó la presencia de tres núcleos de masas de agua, las cuales confirman su presencia como se ha registrado en otros trabajos. Las masas de agua identificadas durante el presente estudio son: Agua Superficial del Caribe, Agua Subsuperficial Subtropical y Agua Intermedia Antártica.

## PERSPECTIVAS

La caracterización de las masas de agua y de las corrientes costeras y oceánicas es un importante tema de estudio debido a la importancia que tienen en la distribución y presencia de las especies marinas en aguas colombianas. El estudio oceanográfico de la zona marina colombiana, aunque aún faltan áreas por estudiar, es una valiosa herramienta que ayuda en la caracterización de áreas productivas, de las condiciones ambientales que favorecen la presencia de las especies y de las relaciones tróficas marinas, ofreciendo información clave en el manejo de las zonas marinas de nuestro país. El conocimiento de las masas de agua y de sus organismos asociados será en el futuro una valiosa herramienta para evaluar y analizar cambios en la diversidad de especies que son atribuidos al cambio climático y a procesos de contaminación entre otros.

## AGRADECIMIENTOS

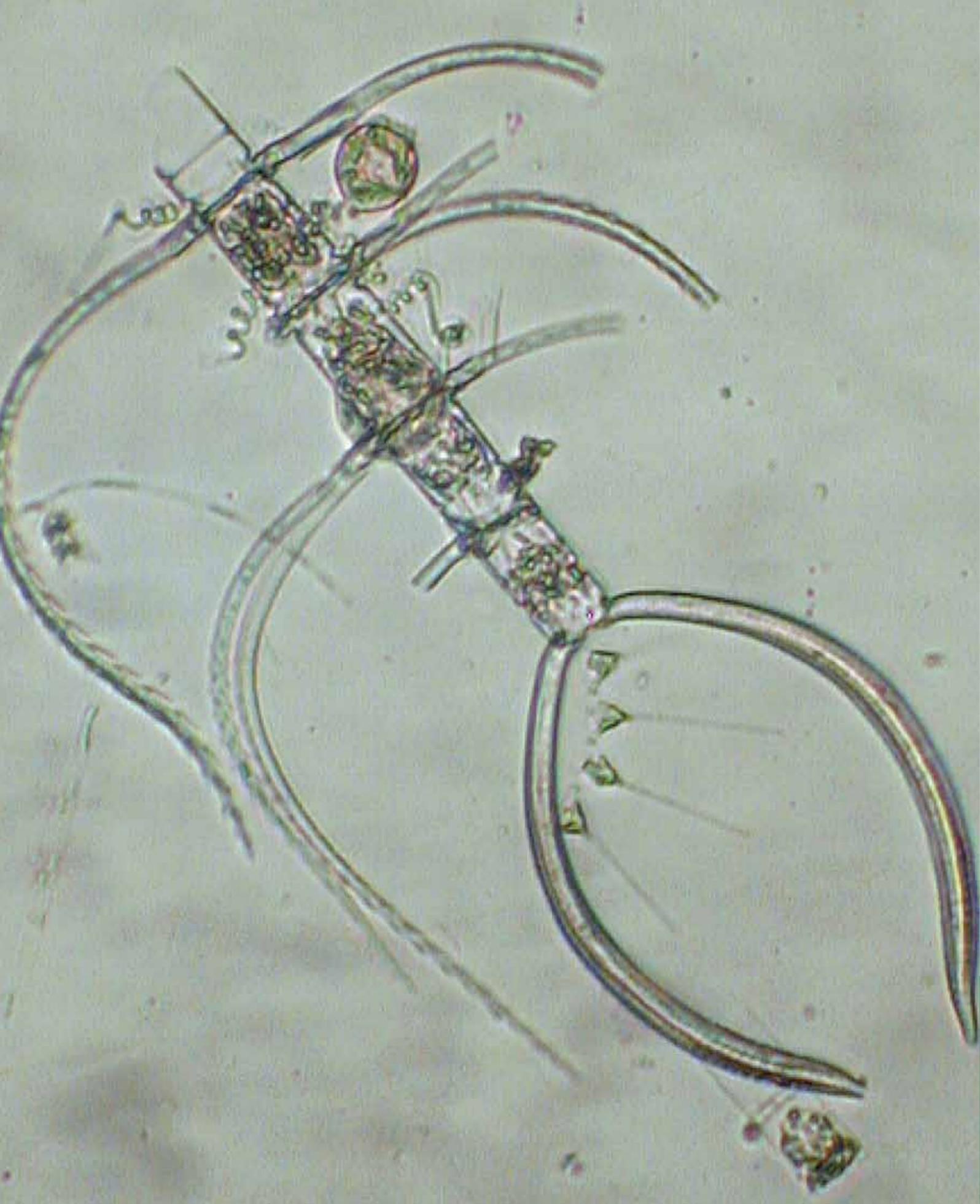
Los autores agradecen a la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) de Colombia y al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - Invemar por el apoyo y financiación del proyecto "Especies, ensamblajes y paisajes de los bloques marinos sujetos a exploración de hidrocarburos" dentro del cual se desarrolló parte del presente trabajo. Al laboratorio de Sistemas de Información del Invemar por el apoyo en el diseño de los mapas. Al Laboratorio de Química del programa Calidad Ambiental Marina (CAM) - Julián Betancourt y Carlos Henry y a la Coordinación de Servicios Científicos (CSC). Al doctor Andrés Franco docente de la Universidad Jorge Tadeo Lozano y a Carolina Gómez-Posada M.Sc. por sus aportes y sugerencias a lo largo del desarrollo de la presente investigación. A los doctores en oceanografía Alan Giraldo docente de la Universidad del Valle y Samuel Núñez docente de la Universidad del Magdalena, y a Luis A. Vidal M.Sc. por la revisión crítica del manuscrito.

## REFERENCIAS

- Álvarez-León R., J. Aguilera-Quinones, C.A. Andrade-Amaya y P. Nowak. 1995. Caracterización general de la zona de surgencia en la Guajira Colombiana. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 19(75):679- 694.
- Andrade C.A. 1993. Análisis de la velocidad del viento en el Mar Caribe. *Boletín Científico CIOH*, 13:33-43.
- Andrade-Amaya C.A. 2000. The circulation and variability of the Colombian Basin in the Caribbean Sea. Tesis de Doctorado, University of Wales, 225 p.
- Andrade-Amaya, C.A. 2001. Las corrientes superficiales en la Cuenca de Colombia observadas con boyas de deriva. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 25(96):321-335.
- Andrade-Amaya C.A. 2003. Sobre variaciones del nivel del mar en la zona costera colombiana. Memorias del seminario taller internacional de geología marina y costera, vol. 15, 59 p.

- Andrade-Amaya C.A. y E.D. Barton. 2000. Eddy development and motion in the Caribbean Sea. *Journal of Geophysical Research*, 105(C11):26.191–26.201.
- Andrade-Amaya C.A. y E.D. Barton. 2005. The Guajira Upwelling System. *Continental Shelf Research*, 25:1003-1022.
- Andrade-Amaya C.A., E.D. Barton y C.N. Mooers. 2003. Evidence for an Eastward Flow along the Central and South American Caribbean Coast. *Journal of Geophysical Research*, 108(6):16.1-16.11.
- Bernal G., G. Poveda, P. Roldán y C. Andrade. 2006. Patrones de variabilidad de las temperaturas superficiales del mar en la Costa Caribe colombiana. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 30(115):195-208.
- Blanco J.A. 1988. Las variaciones ambientales estacionales en las aguas costeras y su importancia para la pesca en la región de Santa Marta, Caribe Colombiano. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, 50 p.
- Boltovskoy E. 1981. Masas de agua en el Atlántico Sudoccidental, 227 – 237. En: Boltovskoy D. (Ed.), *Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino*, Publicación especial del INIDEP, Mar del Plata, Argentina, 936 p.
- Botero L. y R. Álvarez-León. 2000. The Caribbean coast of Colombia, 663-675. En: Sheppard C. (Ed.), *Seas at the Millennium: An Environmental Evaluation*, Elsevier Science Ltd., 1, 934 p.
- Bula-Meyer G. 1985. Un Nuevo núcleo de surgencia en el Caribe colombiano detectado en correlación con las macroalgas. *Boletín Ecotrópica*, 12:3-25.
- Cañón M.L. y A. Santamaría. 2003. Influencia de la pluma del río Magdalena en el Caribe colombiano. *Boletín Científico CIOH*, 21:66-84.
- Carvalho L., C. Vera y C. Jones. 2007. Características principales de la variabilidad intraestacional en el Sistema Monzónico de América del Sur (SAMS). *Newsletter of the Variability of the American Monsoon System Project*, 4:7-10.
- Caviedes C. 1998. Influencia de ENOS sobre las variaciones interanuales de ciertos ríos en América del Sur. *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines*, 27(3):627-641.
- CCCP. 2002. Compilación oceanográfica de la Cuenca Pacífica Colombiana. Imágenes de la naturaleza, Centro de Control de Contaminación del Pacífico, Cali, 109 p.
- Corpes. 1992. El Caribe colombiano: Realidad ambiental y desarrollo. Consejo Regional de Planificación de la Costa Atlántica, 275 p.
- Corredor J.E. 1979. Phytoplankton response to low level nutrient enrichment through upwelling in the Colombian Caribbean basin. *Deep Sea Research Part A*, 26:731-741.
- Duarte G. 1996. Estructura del fitoplancton al noroeste de la Guajira, durante el crucero Caribe. Tesis Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 93 p.
- Emery W.Y. 2001. Water types and water masses. *Encyclopedia of Ocean Sciences*, 3179-3187.
- Fajardo G. 1979. Surgencia costera en las proximidades de la península colombiana de la Guajira. *Boletín Científico CIOH*, 2:17-19.
- Febres-Ortega G. y L.E. Herrera. 1976. Caribbean sea circulation and water mass transports near the Lesser Antilles. *Boletín Instituto Oceanográfico Universidad de Oriente*, 15(1):83-96.
- Filonov, A.E., Tereshcheko E., Monzón C., González-Ruelas M., Godínez-Domínguez E. 2000. Variabilidad estacional de los campos de temperatura y salinidad en la zona costera de los estados de Jalisco y Colima, México. *Ciencias Marinas*. Universidad Autónoma de Baja California. 26(2):303-321.
- Franco-Herrera A. 2005. Oceanografía de la ensenada de Gaira. El Rodadero, más que un centro turístico en el Caribe colombiano. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 56 p.
- Franco-Herrera A. y D. Arévalo-Martínez. 2008. Características oceanográficas de la ensenada de Gaira, departamento del Magdalena, época seca menor de 2006. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 37(2):131-162.
- Giannini A., Y. Kushnir y M. Cane. 2000. Interannual Variability of Caribbean Rainfall, Enso, and Atlantic Ocean. *Journal of Climate*, 13(2):297-311.
- Giraldo L. 1994. Análisis de las masas de agua y control de calidad de la información oceanográfica. *Boletín Científico CIOH*, 15:17-38.
- Gordon A.L. 1967. Circulation of the Caribbean Sea. *Journal of Geophysical Research*, 72:6207-6223.
- Hernández-Guerra A. y T.M. Joyce. 2000. Water masses and Circulation in the surface layers of the Caribbean at 66°W. *Geophysical research letters*, 27(21):3497-3500.
- Herrera L.E. y G. Febres-Ortega. 1976. Características termohalinas de las aguas superiores del Sureste del mar Caribe durante la época de lluvias. *Boletín Instituto Oceanográfico. Universidad de Oriente*, 15(1):97-114.
- Herrera L.E., G.A. Febres y J.M. Andrés. 1980. Distribución de las masas de agua y sus vinculaciones dinámicas en el sector centro-occidental venezolano, mar Caribe. *Boletín Instituto Oceanográfico Universidad de Oriente*, 19(1 y 2):93-118.
- Herring P. 2002. The biology of the deep ocean. Oxford University Press, Oxford, 330 p.
- Ideam. 2009. Pronóstico de pleamares y bajamares costa Caribe colombiana. Servicio Mareográfico, Bogotá, 124 p.
- Invemar. 2006. Ordenamiento ambiental de la zona costera del departamento del Atlántico. Informe final componente físico, Barranquilla, 108 p.
- Invemar-ANH. 2008. Especies, ensamblajes y paisajes de los bloques marinos sujetos a exploración de hidrocarburos. Informe técnico final, Santa Marta, 461 p.
- Johns W.E., T.L. Townsend, D.M. Fratantoni y W.D. Wilson. 2002. On the Atlantic inflow to the Caribbean Sea. *Deep-Sea Research Part I*, 49:211–243.
- Johnson M.W. y E. Brinton. 1963. Biological species, water-masses and currents, 381-414. En: Hill M.N (Ed.), *The sea, Ideas and observations on progress in the study of the seas*, Interscience publishers, vol 2, 554 p.
- Kiorboe T. 2008. A Mechanistic Approach to Plankton Ecology. Princeton University Press, New Jersey, 228 p.
- Kjerfve B. 1981. Tides in the Caribbean Sea. *Journal of Geophysical Research*, 86(C5):4243-4247.
- Lalli C. y T. Parsons. 1997. Biological Oceanography: an introduction. Elsevier, Amsterdam, 313 p.
- León G., J. Zea y J. Eslava. 2000. Circulación general del trópico y la Zona de Confluencia Intertropical en Colombia. *Meteorología Colombiana*, 1:31-38.
- Manjarrés L., A. Vergara, J. Torres, G. Rodríguez, E. Arteaga, J. Viaña, J. Arévalo y R. Galvis. 2005. Evaluación de peces demersales e ictioplancton en el Mar Caribe de Colombia, incluyendo condiciones oceanográficas. Parte I: Crucero INPA-VECEP/UE/DEMÉR/9507 (Julio de 1995). *Intrópica*, 2:51-86.
- Melo J. y J.D. Pabón. 2002. Análisis de procesos de interacción océano-atmósfera en áreas marítimas colombianas. *Meteorología Colombiana*, 6:139-142.
- Molinari R., M. Spillane, I. Brooks, D. Atwood y C. Duckett. 1981. Surface currents in the Caribbean Sea as deduced from Lagrangian observations. *Journal of Geophysical Research*, 86(C7):6537-6542.
- Montealegre J.E. 1996. Análisis del comportamiento de la precipitación en Colombia durante los periodos de ocurrencia de los fenómenos ENOS (El Niño Oscilación del Sur) y el Anti-El Niño. Memorias IV Congreso colombiano de meteorología, IDEAM, Bogotá, 157-169.
- Morales R. 2004. Clasificación e identificación de las componentes de marea del Caribe colombiano. *Boletín Científico CIOH*, 22:105-114.
- Morrison J.M. y W.D. Nowlin. 1982. General distributions of water masses within the Eastern Caribbean Sea during the winter of 1972 and fall of 1973. *Journal of Geophysical Research*, 87:4207-4229.
- Nystuen J.A. y C.A. Andrade. 1993. Tracking mesoscale ocean features in the Caribbean Sea using geosat altimetry. *Journal of Geophysical Research*, 98(C5):8389-8394.
- Ortiz-Royedo J.C. 2007. Huracanes y tormentas tropicales en el mar Caribe colombiano desde 1900. *Boletín Científico CIOH*, 25: 54-60.
- Pabón J.D., P. Rojas, J. Montealegre, K. Robertson, J. Cevallos, N. Martínez y E. Ñañez. 1998. El Océano, En: Leyva P. (Ed.), *El medio ambiente de Colombia*, IDEAM, Santafé de Bogotá, 495 p.
- Pabón J.D., J. Eslava y R. Gómez. 2001a. Características de gran escala del clima en la América tropical. *Meteorología Colombiana*, 4:39-45.
- Pabón J.D., J.A. Zea, G. León, J.E. Montealegre, G. Hurtado y O.C. González. 2001b. La Atmósfera, el Tiempo y el Clima, En: Leyva P. (Ed.), *El Medio Ambiente en Colombia*, Ideam, Santafé de Bogotá D.C., 38-86.
- Pétus C., C. García Valencia, Y.F. Thomas y M. Cesaracio. 2007. Etude de la variabilité saisonnière et interannuelle de la résurgence de la Guajira (Colombie) par analyse de données satellitaires Ami-Wind, Seawinds et AVHRR. *Teledetection*, 7(1-4).
- Posada B.O y W. Henao. 2006. Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano. Invemar, Serie de Publicaciones Especiales, 13:35-38 p.
- Posada-Peláez C. 2005. Ecología trófica de *Elagatis bipinnulata* Quoy y Gaimard, 1825 (Pisces: Carangidae) y *Euthynnus alletteratus* Rafinesque, 1810 (Pisces: Scombridae) en la región de Taganga y Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe colombiano. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, Tesis de Grado Biólogo Marino, 148 p.
- Poveda G. 1998. Retroalimentación dinámica entre el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur y la hidrología de Colombia. Tesis como requisito para el título de Doctor en Ingeniería en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia.
- Poveda G. y O. Mesa. 1999. La corriente de chorro superficial del oeste (“del Choco”) y otras dos corrientes de chorro en Colombia: Climatología y Variabilidad durante las fases ENSO. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 23(89):517-528.

- Poveda G. y O.J. Mesa. 2000. On the existence of Lloró (the rainiest locality on earth): enhanced ocean land atmosphere interaction by a low level jet. *Geophysical Research Letters*, 27(11):1675-1678.
- Pujos M., J.L. Pagliardini, R. Steer, G. Vernet y O. Weber. 1986. Influencia de la contra-corriente norte colombiana para la circulación de las aguas en la plataforma continental su acción sobre la dispersión de los efluentes en suspensión del río Magdalena. *Boletín Científico CIOH*, 6:3-15.
- Ramírez G. 1983. Características fisicoquímicas de la bahía de Santa Marta (Agosto, 1980 – Julio, 1981). *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betin*, 13:111-121.
- Reynolds C.S. 2006. The Ecology of Phytoplankton. Cambridge University Press, New York, 535 p.
- Rodríguez-Ramírez A. y J. Garzón-Ferreira. 2003. Monitoreo de arrecifes coralinos, pastos marinos y manglares en la bahía de Chengue - Caribe colombiano (1993 – 1999), Invemar, Serie de publicaciones especiales, Santa Marta, 170 p.
- Roemmich D. 1981. Circulation of the Caribbean Sea: A well-resolved inverse problem. *Journal of Geophysical Research*, 86(C9),7993-8005.
- Salzwedel H. y K. Müller. 1983. A summary of meteorological data for the bay of Santa Marta, Colombian Caribbean. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betin*, 13:67-84.
- Stewart R. 2002. Introduction to Physical Oceanography. Department of Oceanography. Texas A & M. University. 350 p.
- Urbano J.E. 1993. Masas de agua del Caribe colombiano. *Boletín Científico CIOH*, 14:3-30.
- Wiedemann H. 1973. Reconnaissance of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia: Physical Parameters and Geological History. *Mitteilungen aus dem Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas*, 7:85-119.
- Wilson W.D. y W.E. Johns. 1997. Velocity structure and transport in the Windward Island passages. *Deep Sea Research Part I*, 44:487-520.
- Wüst G. 1964. Stratification and circulation in the Antillean Caribbean Basin. Part 1. Spreading and mixing of water types with an oceanographic atlas. Columbia University Press, New York, 201 p.



## LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA EN EL MAR CARIBE COLOMBIANO

*Yesid Lozano-Duque<sup>1\*</sup>, Luis A. Vidal<sup>2</sup> y Gabriel R. Navas S.<sup>3\*\*</sup>*

1. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – Invemar, Cerro Punta Betín, Santa Marta, Colombia.

\* Dirección actual: Universidad del Valle, Colombia. Correo electrónico: yesidlozanoduque@yahoo.com.mx

2. Dirección actual: Correo electrónico: lavidalve@yahoo.com

3. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – Invemar, Cerro Punta Betín, Santa Marta, Colombia.

\*\* Dirección actual: Universidad de Cartagena, Colombia. Correo electrónico: gnavass@unicartagena.edu.co

Figura separador: *Chaetoceros* sp. Fotografía: Yesid Lozano.

## RESUMEN

Con el fin de realizar una caracterización espacial de la comunidad fitoplanctónica marina se recolectaron muestras en 13 estaciones oceánicas frente a la costa Caribe colombiana, durante los meses de mayo y junio de 2008. Se realizaron arrastres verticales desde el inicio de la termoclina hasta la superficie con red cónica, con ojo de malla de 20 µm. Se realizó la identificación de la comunidad fitoplanctónica hasta especie y se realizaron conteos de células fitoplanctónicas con una cámara Sedgwick-Rafter. En total se identificaron 198 especies: 53 pertenecen a diatomeas céntricas, 24 a diatomeas pennadas, 116 a dinoflagelados, tres a cianobacterias, una es un silicoflagelado y otra es una clorófito. El grupo de las diatomeas centrales fue el más abundante, seguido de las diatomeas pennales, los dinoflagelados, las cianobacterias, las clorófitas y los silicoflagelados. En general el grupo de las diatomeas fue dominante en cuanto a la abundancia porcentual. Por otro lado el grupo de los dinoflagelados fue dominante por su mayor riqueza de especies representando casi el 60% de las registradas. El análisis de agrupamiento permitió postular la formación de dos grandes grupos de estaciones ubicados, uno en la zona suroccidental y el otro en la zona nororiental. En general la comunidad fitoplanctónica mostró pocas especies presentes en la mayoría de estaciones las cuales fueron las más abundantes y dominantes. Por el contrario, la mayoría de especies se presentaron en una o pocas estaciones y fueron poco abundantes.

**Palabras clave:** *Fitoplancton, Caribe colombiano, Microalgas, Biodiversidad.*

## ABSTRACT

To conduct a spatial characterization of the marine phytoplankton community, it was collected samples in

13 oceanic stations in front of the Caribbean coast of Colombia, during the months of May and June 2008. Vertical hauls were done from the top of the thermocline to the surface, with 20 micron mesh plankton conical net. It was identified the phytoplankton community to the species level, and phytoplankton cell counts were made with a Sedgwick-Rafter chamber. In total, 198 species were identified: 53 belong to centric diatoms, 24 to pennate diatoms, 116 dinoflagellates, three cyanobacteria, one is a silicoflagellate and one is a chlorophyta. The most abundant group was central diatoms, followed by pennate diatoms, dinoflagellates, the cyanobacteria, the chlorophyta and the silicoflagellates. The whole group of diatoms was dominant in terms of percentage abundance. On the other hand, the dinoflagellate group was dominant because of their species richness, representing almost 60% of the species recorded. The cluster analysis formed two large groups which were defined as southwestern and northeastern zone. Phytoplankton community in general showed few species that were present in most of the stations; these few species were the most abundant and dominant. On the contrary, the majority of the species were present in one or few stations, and they were no abundant.

**Key words:** *Phytoplankton, Colombian Caribbean, Microalgae, Biodiversity.*

## INTRODUCCIÓN

Los organismos fitoplanctónicos desempeñan un papel fundamental al constituirse en el primer enlace de la red trófica, transformando el material inorgánico (dióxido de carbono, nitrato, fosfato, etc.) a compuestos orgánicos (lípidos, proteínas, materia orgánica, etc.) que terminan siendo el alimento o fuente de energía para el resto de organismos marinos (Raymont 1963). Aunque representan menos del 1% de la biomasa fotosintética mundial, el fitoplancton es responsable de más del 45% de la producción primaria neta anual de nuestro plane-

ta. Los organismos fotoautótrofos marinos aparecen en el período arcaico (hace aproximadamente 3800 millones de años) con el origen de la fotosíntesis. Esa nueva condición originó la oxigenación de la atmósfera, modificando la biogeoquímica de los océanos y la atmósfera, dando origen a los sistemas de vida que conocemos actualmente (Falkowski *et al.* 2004, Falkowski y Knoll, 2007, Simon *et al.* 2009).

El fitoplancton es un grupo de microorganismos autótrofos fotosintéticos y es extremadamente diverso; es, además, un grupo polifilético que incluye formas procariotas y eucariotas. La comunidad fitoplanctónica está compuesta principalmente por organismos unicelulares que en algunas ocasiones forman colonias. Mientras que en ecosistemas terrestres el proceso fotosintético es dominado por un clado (Embriofita ó plantas terrestres) que contiene entre 275000 y 300000 especies, la comunidad fitoplanctónica incluye por lo menos ocho divisiones mayores o phylum con aproximadamente 25000 formas morfológicas definidas y cerca de 5000 especies marinas reconocidas (Dawes 1991, Sournia *et al.* 1991, Falkowski *et al.* 2004, Simon *et al.* 2009).

El fitoplancton marino está representado principalmente por dos grandes grupos: las diatomeas y los dinoflagelados. Las diatomeas pertenecen a la división llamada Bacillariophyta, uno de los grupos mejor estudiados entre las algas planctónicas, siendo dominante en latitudes altas y templadas. Con base en su morfología se reconocen dos grupos de diatomeas: las formas pennales y las centrales. Las diatomeas pennales tienen forma elongada y son principalmente bentónicas, aunque algunos géneros planctónicos pueden llegar a ser abundantes en algunas regiones. Las diatomeas centrales tienen valvas concéntricas, organizadas radialmente y son comunes en el plancton, agrupando más de 1000 especies descritas. El segundo grupo fitoplanctónico más abundante, después de las diatomeas, está compuesto por organismos que pertenecen a la división Dinophyta, comúnmente conocidos como dinoflagelados. Muchas de estas

algas unicelulares son solitarias; solo algunas especies forman cadenas. Los dinoflagelados, a diferencia de las diatomeas, poseen dos flagelos o apéndices en forma de látigo, lo que les permite el movimiento (Balech 1977, Round *et al.* 1990, Dawes 1991, Chrétiennot-Dinet *et al.* 1993, Tomas 1996, Ald *et al.* 2005).

El proceso fotosintético, el crecimiento, la adquisición de recursos y el evitar ser capturados por depredadores definen en gran parte el nicho ecológico del fitoplancton. La competencia por los recursos es un proceso ecológico clave que controla la composición de especies, la diversidad y la sucesión de la comunidad fitoplanctónica. La abundancia y estructura de la comunidad fitoplanctónica afectan directamente los niveles tróficos superiores y los ciclos biogeoquímicos. Según van Beusekom *et al.* (2007) la producción y dinámica de copépodos y larvas de peces son determinadas por la comunidad fitoplanctónica y en especial por el estado nutricional de las especies de fitoplancton. Esta es una de las razones por las cuales es importante estudiar la dinámica de la comunidad fitoplanctónica, puesto que esta información es útil para determinar áreas productivas y así hacer un adecuado manejo de ellas.

La abundancia de organismos planctónicos en el océano muestra considerable variabilidad. El número de especies oceánicas en un lugar y tiempo dado son regulados por la interacción entre un gran número de factores como el movimiento del agua y turbulencias a pequeña escala, hasta sistemas de corrientes oceánicas, migración, dinámica poblacional en relación a las tasas de reproducción, mortalidad y depredación, y numerosos factores fisicoquímicos (Colebrook 1969).

La distribución del fitoplancton marino está determinada principalmente por las mismas variables que afectan su abundancia. No hay un hábitat donde alguna especie fitoplanctónica no encuentre alguna de las condiciones favorables de su rango ecológico. El efecto combinado de estas variables determina la distribución de especies,

y por lo general es difícil señalar la variable más importante en una situación dada. Las relaciones espaciales de la distribución de las especies fitoplanctónicas pueden ser entendidas como tridimensionales, con un componente latitudinal, longitudinal y vertical. Con base en este concepto se ha definido que los factores que afectan principalmente la distribución del fitoplancton son la luz, la temperatura, la salinidad, la contaminación, los nutrientes y los sistemas de corrientes (Smayda 1958).

La diversidad biológica no está distribuida uniformemente en toda la Tierra. Existe un patrón general que indica que en el trópico es donde se encuentra un mayor número de especies marinas y terrestres, es decir hay un incremento en el número de especies y grandes taxones desde los polos al ecuador. Este patrón es conocido como Gradiente de Diversidad Latitudinal. Los patrones temporales y espaciales en la biodiversidad ofrecen importante información acerca de la relación dinámica entre los organismos y su medio ambiente. Entre más diverso sea un ecosistema más alta es su capacidad para adaptarse a cambios ambientales (Al-Sabouni *et al.* 2007). El fitoplancton está presente en todos los mares y océanos; a menudo sus especies son clasificadas como árticas, antárticas, templadas y tropicales. Esta clasificación se basa en la existencia de especies que solo se encuentran en ciertas áreas del planeta asociadas a características ambientales muy definidas. Varios autores han intentado clasificar las especies de acuerdo a su distribución espacial o temporal (Smayda 1958, Hasle 1976, Longhurst 2001) lo que ha ayudado a entender más sobre los factores ecológicos y biológicos que determinan la distribución de las especies fitoplanctónicas marinas.

La composición de especies y la abundancia relativa de diferentes grupos algales en una comunidad son determinantes fundamentales de la estructura y función de los ecosistemas acuáticos. Alteraciones en la composición de la comunidad fitoplanctónica pueden ocasionar

impactos ecológicos negativos en todo el ecosistema, por ejemplo, las perjudiciales “floraciones algales” (Paerl 1988), hipoxia / anoxia en aguas profundas (Bianchi *et al.* 2000), o eutrofización (Nixon 1995) y alteración en la calidad de las fuentes alimenticias en los niveles tróficos superiores (Kleppel 1992). Por lo tanto, el monitoreo de la estructura de la comunidad fitoplanctónica es una herramienta útil para observar cómo los cambios en las condiciones ambientales en aguas locales son traducidas a respuestas de la comunidad fitoplanctónica (See *et al.* 2005).

La abundancia y composición de la comunidad fitoplanctónica son importantes parámetros en la evaluación de la calidad del agua (Paerl *et al.* 2003, Tett 2004). El fitoplancton está enumerado en la “Water Framework Directive” de la Unión Europea como un elemento de calidad biológica para aguas costeras y de transición, y los indicadores fitoplanctónicos forman una parte integral del “National Estuarine Eutrophication Assessment”, OSPAR Comprehensive Procedure, ASSESTS and ICES eutrophication assessment methods, los cuales definen la biomasa, abundancia y composición como parámetros claves (Ferreira *et al.* 2005). El estudio de la comunidad fitoplanctónica ha tomado interés mundial debido a la importancia que tiene esta comunidad para evaluar los ecosistemas marinos. Ha resultado ser también una herramienta muy útil en el manejo de áreas marinas afectadas por eventos como el cambio climático, las floraciones algales nocivas, la eutrofización y las especies invasoras, entre otros.

El estudio de la comunidad fitoplanctónica en el mar Caribe colombiano se ha enfocado a zonas costeras, especialmente en la bahía de Cartagena, bahía de Nanguange, bahía de Santa Marta y golfo de Salamanca. La mayoría de trabajos están centrados en determinar la composición y abundancia de esta comunidad en áreas geográficas reducidas. La información acerca de la distribución espacial de las especies fitoplanctónicas en el

Caribe colombiano aun no se ha analizado. Este trabajo pretende determinar si existe una variación espacial en la distribución de las especies de fitoplancton registradas en el mar Caribe colombiano a lo largo de un transecto suroccidente-nororiente, paralelo a la costa.

## MÉTODOS

Entre mayo y junio de 2008 se realizó un crucero oceanográfico a bordo del B/I Ancón, en el cual se muestrearon trece estaciones ubicadas a lo largo de un transecto que se extendía del suroccidente al nororiente, paralelo a la costa Caribe colombiana (Figura 1, tabla 1). Para la caracterización e identificación de especies

de la comunidad fitoplanctónica en cada estación se realizó un arrastre vertical con red cónica de 2,2 m de longitud, 0,58 m de boca y malla con tamaño de poro de 20  $\mu\text{m}$ . El arrastre vertical se realizó desde el inicio de la termoclina hasta la superficie (Tabla 1). Con un mecanismo de cierre, la red se bajó cerrada a la profundidad determinada (termoclina), una vez en esta profundidad se abrió la red y se hizo el arrastre vertical hasta la superficie. Las muestras biológicas colectadas se fijaron con lugol y formalina al 4% neutralizada con tetraborato de sodio. La termoclina se determinó por los datos de temperatura contra profundidad obtenidos mediante una sonda multiparametros marca Ocean Seven 316 Plus CTD.

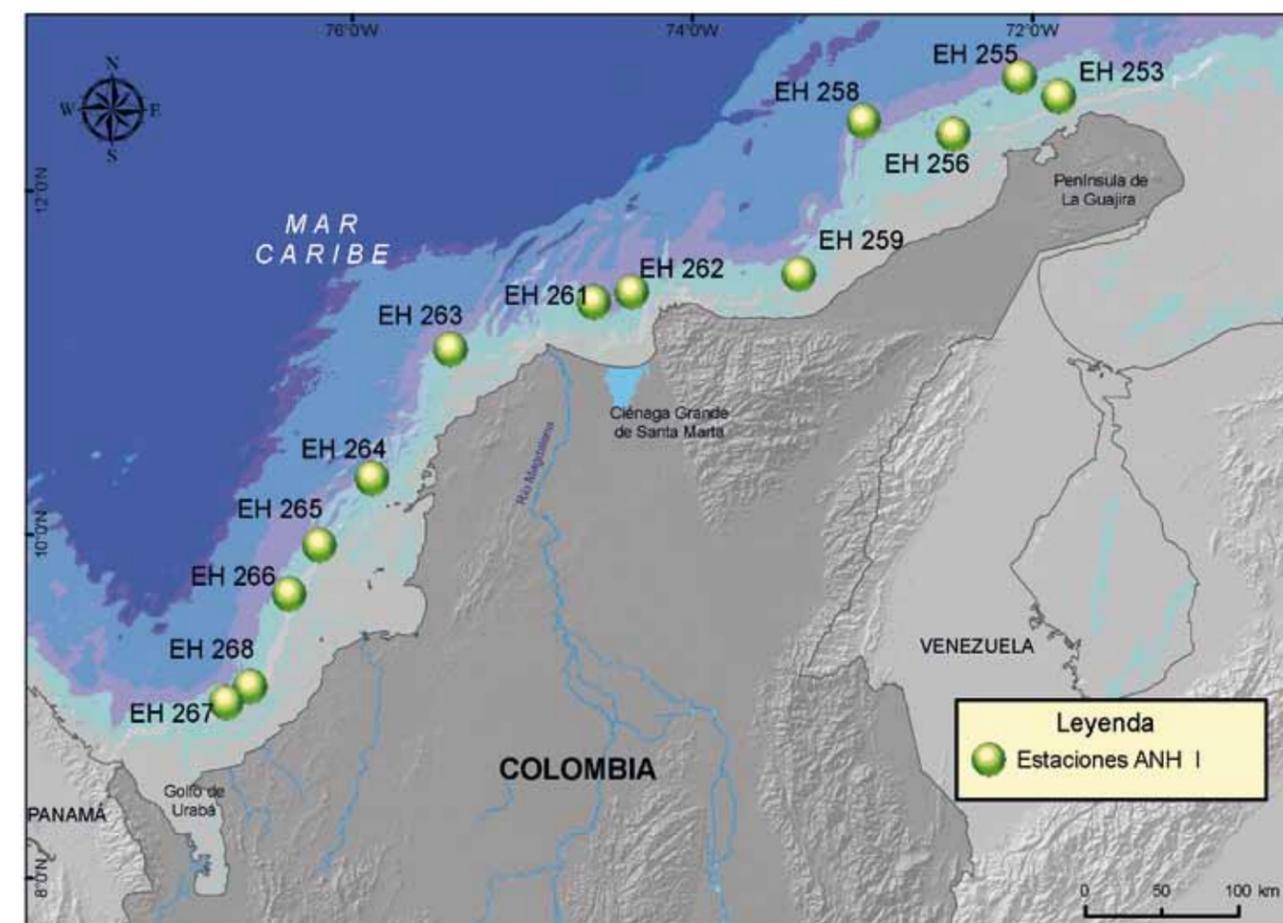


Figura 1. Estaciones de muestreo de fitoplancton a lo largo del Caribe colombiano.

**Tabla 1.** Datos de la ubicación geográfica y valores de los índices de diversidad calculados para cada estación de muestreo. Riqueza de especies (S), índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'), índice de diversidad de Simpson (1-D) y el índice de diversidad Beta ( $\beta_w$ ).

Estación	Longitud	Latitud	Fecha	Profundidad Termoclina (m)	S	H'	1-D	$\beta_w$
E253	-71° 50' 26,89"	12° 33' 17,17"	02/05/2008	39	21	1,8	0,63	8,43
E255	-72 ° 04' 16,75"	12° 40' 13,64"	03/05/2008	38	35	2,5	0,69	4,66
E256	-72 ° 28' 48,39"	12° 20' 9,4"	04/05/2008	42	38	3,4	0,83	4,21
E258	-72 ° 59' 23,64"	12° 25' 38,14"	05/05/2008	38	76	4,5	0,90	1,61
E259	-73 ° 22' 15,44"	11° 31' 12,94"	06/05/2008	11	35	3,7	0,92	4,66
E261	-74 ° 21' 15,86"	11° 25' 5,26"	16/05/2008	48	66	3,9	0,89	2,00
E262	-74 ° 35' 41,42"	11° 21' 25,35"	17/05/2008	45	70	4,4	0,87	1,83
E263	-75 ° 25' 10,13"	11° 05' 51,92"	02/06/2008	20	67	3,9	0,90	1,96
E264	-75 ° 53' 53,66"	10° 20' 51,07"	03/06/2008	17	53	2,7	0,82	2,74
E265	-76 ° 11' 21,1"	09° 56' 27,37"	04/06/2008	23	63	3,4	0,85	2,14
E266	-76 ° 22' 3,33"	09° 40' 30,03"	05/06/2008	24	42	3,0	0,79	3,71
E267	-76 ° 36' 0,77"	09° 7' 10,82"	06/06/2008	14	57	3,2	0,86	2,47
E268	-76 ° 44' 24,8"	09° 2' 39,98"	07/06/2008	16	48	3,1	0,86	3,13

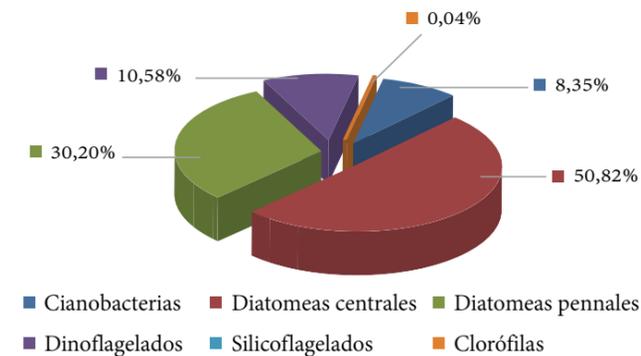
En el laboratorio se realizó la identificación de los organismos fitoplanctónicos hasta el nivel taxonómico mas bajo posible con la ayuda de las guías de identificación de Balech (1988) y Round *et al.* (1990). Para la identificación de algunas especies se realizaron montajes de placas. Dos mililitros de cada muestra fueron vertidos en la placa Sedgewick-Rafter y se contaron las células en las columnas 13, 25 y 37, procurando llegar hasta las 300 células. Las diferentes poblaciones se expresaron como porcentajes de abundancia dentro de la muestra.

A partir de los datos obtenidos se calculó la riqueza de especies (número de especies), el índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $\log_e$ ), el índice de diversidad de Simpson (1-D), la abundancia porcentual de los grupos y se realizaron las respectivas graficas. El índice de di-

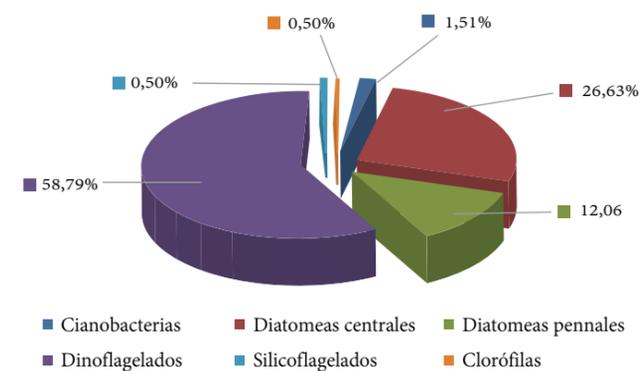
versidad beta ( $\beta$ ) se determinó con base a la ecuación  $\beta_w = \gamma/\alpha - 1$  (Whittaker 1972), donde " $\gamma$ " representa la diversidad gamma (número total de especies presentes en el área de estudio) y " $\alpha$ " representa la diversidad alfa (número de especies presentes en cada estación). Se realizó un análisis de agrupamiento con los datos de presencia-ausencia de especies fitoplanctónicas de cada estación. Para el agrupamiento se utilizó el índice de similitud de Bray-Curtis mediante la técnica de agrupamiento promedio. Se desarrolló el dendrograma y se definieron grupos bajo un 40% de similitud utilizando el software Primer para Windows versión 6.1.7 (Clarke y Warwick 2001, disponible para adquisición en <http://www.primer-e.com/>).

## RESULTADOS

En total se identificaron 198 taxones, de los cuales 53 taxones pertenecen a diatomeas centrales, 24 a diatomeas pennales, 116 a dinoflagelados, tres taxones a cianobacterias, un taxón a silicoflagelado y uno a clorófito. Se observó, durante este estudio que el grupo de las diatomeas centrales fue el más abundante, seguido de las diatomeas pennales, los dinoflagelados, las cianobacterias, las clorófitas y los silicoflagelados (Figura 2).



**Figura 2.** Abundancia celular fitoplanctónica total en porcentaje durante el presente estudio.

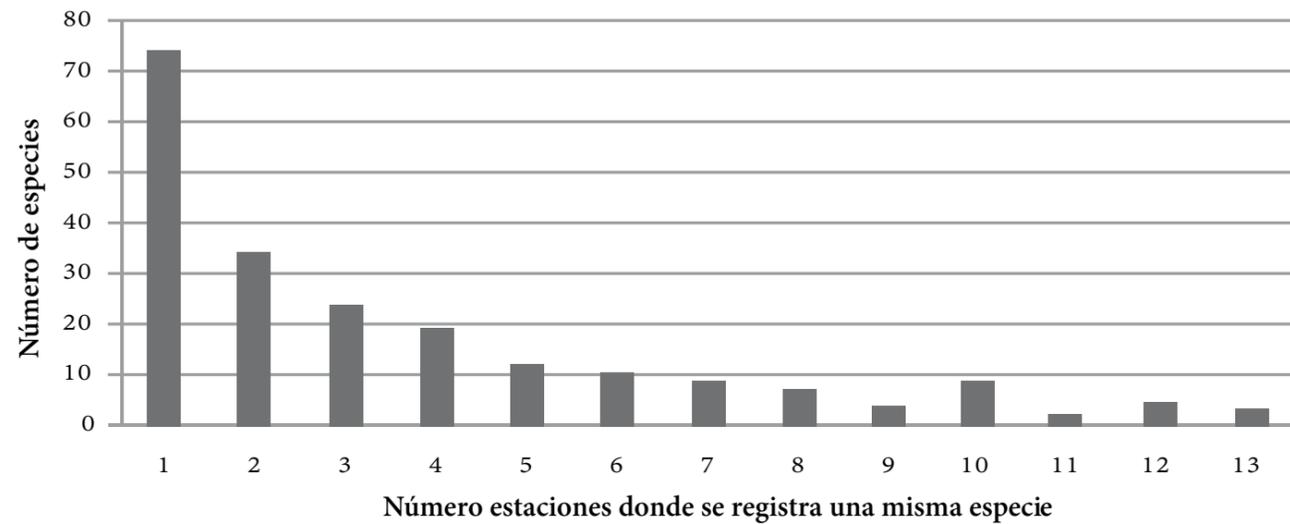


**Figura 3.** Distribución porcentual total de la riqueza de especies durante el presente estudio.

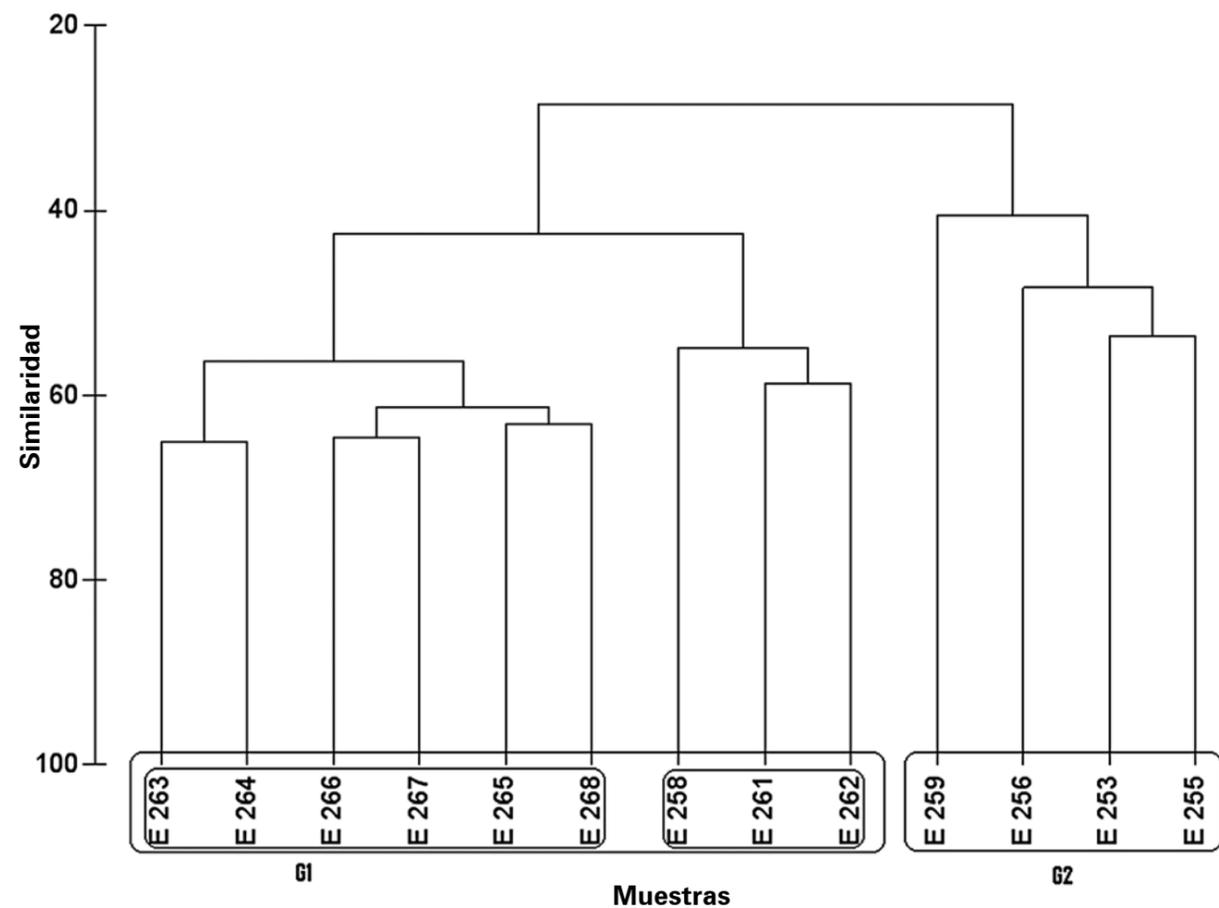
El grupo de las diatomeas fue dominante en cuanto a la abundancia porcentual. Mientras que el grupo de los dinoflagelados fue dominante por su mayor riqueza de especies representando casi el 60% de las especies registradas (Figura 3).

Durante este estudio, la abundancia porcentual total de 18 especies representó el 78% de las células contadas. Estas especies fueron *Proboscia alata f. gracillima* (12,7%), *Thalassionema frauenfeldii* (10,9%), *Thalassionema nitzschioides* (9,0%), *Trichodesmium erithraeum* (7,9%), *Bacteriastrium spp.* (7,4%), *Chaetoceros lorenzianus* (6,2%), *Pseudonitzschia pungens* (4,4%), *Pseudosolenia calcar-avis* (3,1%), *Hemiaulus hauckii* (2,8%), *Guinardia striata* (2,1%), *Pseudonitzschia sp. 1* (1,7%), *Chaetoceros diversus* (1,6%), *Asterionellopsis glaciales* (1,5%), *Chaetoceros pelagicus* (1,4%), *Chaetoceros contortus* (1,4%), *Chaetoceros affinis* (1,4%), *Hemiaulus membranaceus* (1,4%) y *Rhizosolenia clevei* (1,1%). De las 198 especies identificadas en este estudio, 73 tuvieron registro solo en una estación. La mayoría de las especies se encontraron en una o en cuatro estaciones (especies raras), únicamente dos especies se registraron para todas las estaciones de muestreo (Figura 4). Las dos especies que se presentaron en las trece estaciones, *P. alata f. gracillima* y *T. erithraeum*, presentaron una importante abundancia en toda la zona de estudio.

El análisis de agrupamiento formó dos grandes grupos que se pueden definir como zona suroccidental (Grupo I) y zona nororiental (Grupo II). La zona nororiental se separa claramente del resto de estaciones y está conformada por cuatro estaciones (E253, E255, E256 y E259) ubicadas hacia la península de La Guajira (Figura 5). El grupo de la zona suroccidental conformado por nueve estaciones, a su vez se separa en dos grupos, un grupo de seis estaciones (E263, E264, E265, E266, E267 y E268) que están ubicadas al suroccidente y un grupo conformado por tres estaciones E261, E262 y E258 ubicadas al centro del área de estudio. La estación E258, aunque está ubicada geográficamente en la península



**Figura 4.** Número de especies distribuidas de acuerdo al número de estaciones donde una misma especie fue encontrada (frecuencia de ocurrencia).



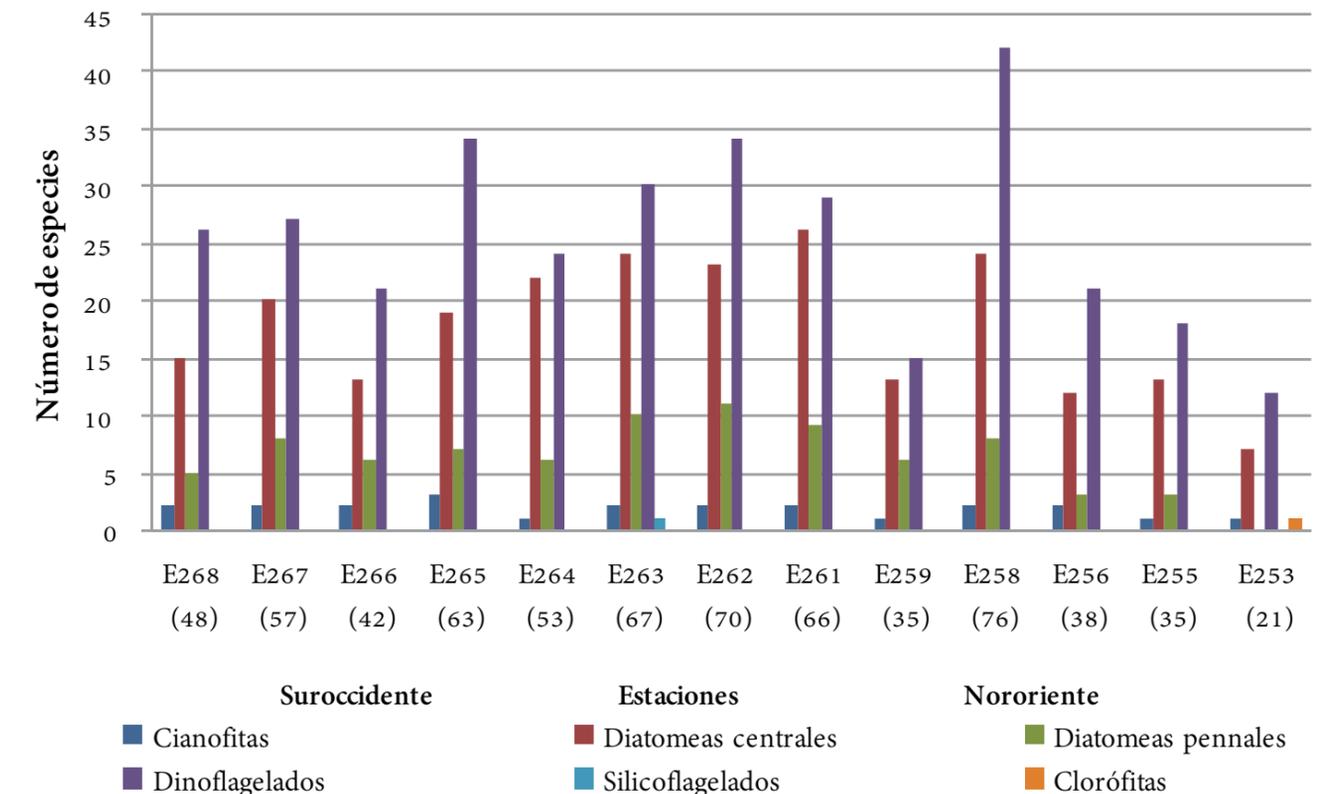
**Figura 5.** Dendrograma entre las estaciones de muestreo con base a los datos de presencia-ausencia de especies utilizando el índice de similitud Bray-Curtis mediante la técnica de agrupamiento promedio.

de la Guajira se agrupa con la zona suroccidente. Esta estación según el análisis, tiene mucha similitud con las estaciones E261 y E262 que se encuentran ubicadas frente a la zona de desembocadura del río Magdalena.

El mayor número de especies totales (Tabla 1) y de especies de dinoflagelados se registró en la estación E258 con 76 y 42 especies respectivamente (Figura 6). El menor número de especies totales y de especies de dinoflagelados también se encontró sobre esa misma zona en la estación E253, con 21 y 12 especies. En general, se observó que hacia la zona centro y suroccidente se presentó una mayor riqueza de especies fitoplanctónicas y en especial de dinoflagelados. Las diatomeas centrales presentaron su mayor riqueza en la estación E261 con 26 especies y el menor en la estación E253 con siete especies. Las diatomeas pennales no se registraron en la estación E253 y su mayor riqueza se presentó en las estaciones E262,

E263 y E261 ubicadas en la zona de la desembocadura del río Magdalena. Se registró solo una especie para el grupo de cianobacterias en la estación E253 y una especie para silicoflagelados en la estación E263.

La mayor abundancia porcentual de las diatomeas centrales sobre los otros grupos se observó en todas las estaciones evaluadas a excepción de las estaciones E262 y E264 (Figura 7). Los valores más altos se registraron en la zona nororiental con la estación E255 con la mayor abundancia, y los menores en la zona suroccidental en particular en la estación E266. Las diatomeas pennales en la zona nororiental se presentaron en muy baja abundancia porcentual, estando ausentes en la estación E253, pero hacia la zona suroccidental tienden a aumentar llegando a dominar en las estaciones E262 y E264. Los dinoflagelados presentaron su mayor abundancia porcentual en las estaciones ubicadas en la zona



**Figura 6.** Número de especies identificadas por grupo taxonómico en cada estación. El número en paréntesis debajo del nombre de la estación indica el número total de especies en la estación

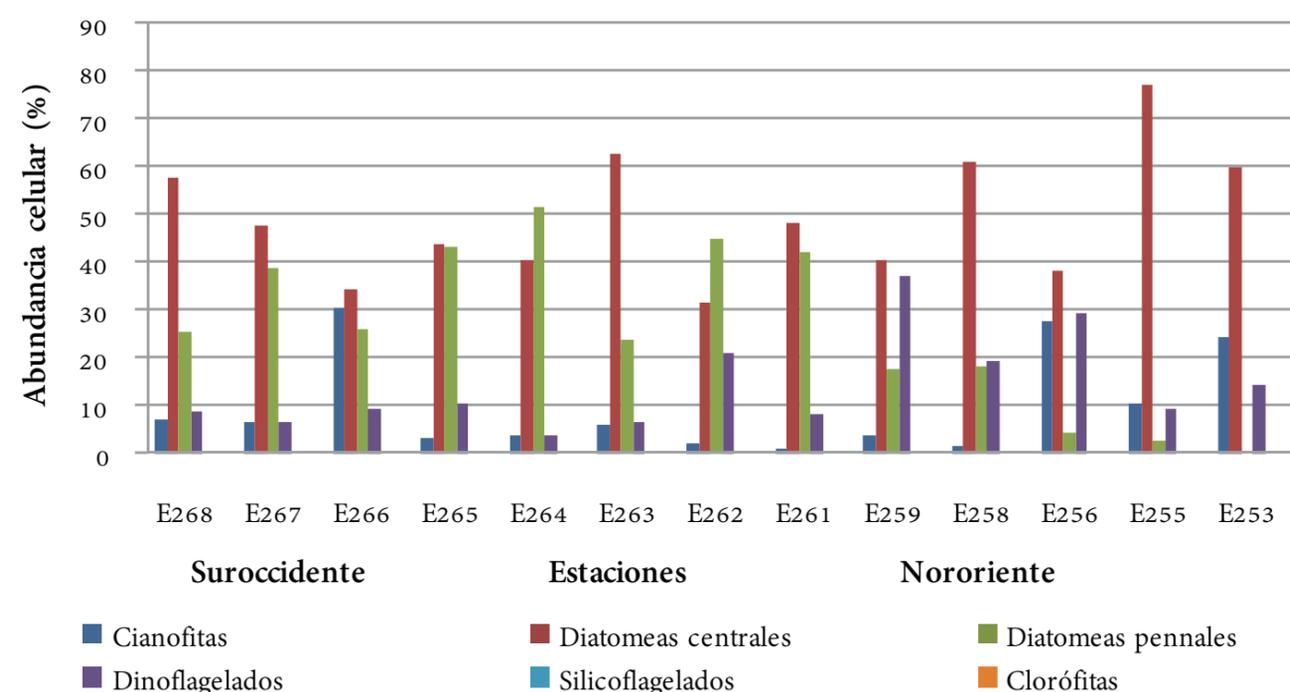


Figura 7. Abundancia celular porcentual de los grupos fitoplanctónicos identificados en las estaciones de muestreo.

nororiental, sector donde se encuentra la estación E259 con la mayor abundancia; contrario a lo que ocurre en las estaciones de la zona suroccidental en donde se presentó una disminución de la abundancia de dinoflagelados, donde la estación E264 presentó el menor valor. El grupo de cianobacterias presentó un aumento de su abundancia porcentual en las estaciones E253, E255 y E256 que se encuentran ubicadas en la zona nororiental, aunque la estación E266 en la zona suroccidental presentó la mayor abundancia para este grupo. En el resto de estaciones la abundancia de las cianobacterias fue muy baja, con valores muy similares. La abundancia de los silicoflagelados fue muy baja, solo fue registrado en la estación E263, igual pasa con la clorófitas que fue registrada únicamente en la estación E253.

Los valores del índice de diversidad de Shannon-Wiener en las diferentes estaciones variaron entre 1,08 y 4,54 (Tabla 1). Los valores más bajos se encontraron en las estaciones E253 y E255 en la zona de La Guajira (nororiental) y en la estación E264 en la zona suroccidental.

El índice de diversidad más alto se encontró en la estación E258 seguido de las estaciones E262 y E261. El índice de diversidad de Simpson (1-D) presentó valores entre 0,63 y 0,92, siendo las estaciones E253 y E255 en la zona nororiental las que presentaron la menor diversidad, y las estaciones E259, E258 y E263 mostraron la mayor diversidad. La diversidad  $\beta_w$  presentó valores entre 1,61 y 8,43, con los valores más altos en las estaciones ubicadas en la zona nororiental, sobre la península de La Guajira. La estación E253 presentó el mayor valor  $\beta_w$ , siendo su valor casi el doble de las estaciones E255 y E259 que le siguen en valor. La estación E258 con el valor más bajo de diversidad  $\beta_w$  también se ubica sobre la zona de la península de La Guajira pero hacia aguas oceánicas.

## DISCUSIÓN

El número de especies de fitoplancton marino registradas a nivel mundial a finales de la década de 1980 oscila

entre 3444 y 5375 agrupadas entre 474 y 504 géneros (Sournia *et al.*, 1991). Margalef (1969) en su estudio del ecosistema pelágico del NE de Venezuela registró 300 especies fitoplanctónicas y menciona que con el aporte de otros autores y la información publicada de otras zonas del Caribe no menos de 450 especies podrían ser encontradas. Actualmente existen trabajos sobre los principales grupos de fitoplancton que citan un mayor número de taxones para el mar Caribe. Para el área del Caribe colombiano se han registrado 523 taxones, identificados en varios estudios a lo largo de la costa, de los cuales 337 taxones corresponden a diatomeas (Lozano-Duque *et al.* A en prensa) y 186 taxones a dinoflagelados (Lozano-Duque *et al.*, en prensa). El número de taxones identificados en el presente trabajo, 77 para diatomeas y 116 para dinoflagelados, representan el 37% del total de especies de estos grupos registrados en estudios del mar Caribe colombiano, y entre el 3,5% y el 5,6% del número de especies fitoplanctónicas marinas conocidas a nivel mundial. Con los resultados obtenidos en este trabajo se da un importante aporte al conocimiento de las especies en la zona Caribe suroccidental. Varias de las especies que se identificaron en el presente trabajo se registran por primera vez para esta zona. Es importante resaltar que los sitios de muestreo de este estudio solo representan una pequeña parte del mar Caribe colombiano, por lo cual se espera que al ampliar los sitios de muestreo el número de especies aumente.

Navarro y Hernández-Becerril (1997), con base a una revisión de literatura disponible para el área total del mar Caribe, encontraron 1083 taxones de diatomeas marinas, 305 taxones pertenecientes a diatomeas centrales y 778 taxones pertenecientes a diatomeas pennales. El número de taxones de diatomeas en el presente estudio es muy bajo en comparación al anterior trabajo citado, pero hay que tener en cuenta que el presente muestreo se realizó en la zona pelágica oceánica mientras que el trabajo de Navarro y Hernández-Becerril (1997) abarcó muestreos en zonas costeras incluyendo ciénagas y lagunas. También se observó que para el total del mar

Caribe hay un mayor número de taxones de diatomeas pennales, contrario a lo que se observó en el presente trabajo, donde las diatomeas centrales presentaron mayor número de taxones que las diatomeas pennales.

En comparación con los otros grupos fitoplanctónicos, el grupo de los dinoflagelados presentó el mayor número de taxones identificados, confirmando la gran diversidad del grupo en aguas oceánicas tropicales (Taylor 1987). Sournia *et al.* (1991) citaron el registro de 1424 a 1772 especies de dinoflagelados marinos a nivel mundial, y Gómez (2005), en una publicación más reciente cita la existencia de 1555 especies de dinoflagelados en los océanos del mundo. Para el mar Caribe y áreas cercanas, Ferguson-Wood (1968a) registró 404 especies de dinoflagelados, y para el mar Caribe colombiano Lozano-Duque *et al.* (en prensa) citaron 186 taxones (171 especies). El número de taxones de dinoflagelados identificados en el presente muestreo es bajo, representando menos de la mitad del número de taxones registrados para el mar Caribe y el mar Caribe colombiano. Hay que tener en cuenta que los taxones identificados son de muestras tomadas desde termoclina-superficie, cuya profundidad no pasó de 50 m en ninguna estación. Por este motivo, se esperaría que ampliando el muestreo en aguas más profundas, y debido al movimiento vertical que presentan los dinoflagelados, se encuentre un mayor número de especies de este grupo.

El grupo de las cianobacterias planctónicas marinas, aunque es menos abundante y menos diverso que las cianobacterias terrestres y de agua dulce, es importante entre los organismos fotosintéticos marinos (Waterbury *et al.* 1979, Humm y Wicks 1980). Las especies de cianobacterias (*Richelia intracellularis* y *T. erithraeum*) que se encontraron en el presente estudio se caracterizan por ser diazotróficas (fijadoras de  $N_2$  atmosférico) y por presentarse en aguas marinas oligotróficas (Karl *et al.* 2002, Simon *et al.* 2009). De las cianobacterias identificadas, dos taxones corresponden a especies endosimbiontes (*Synecococcus carcerarius* y *R. intrace-*

*llularis*), es decir, que viven dentro o sobre la célula de otras especies de fitoplancton (Gómez *et al.* 2005). *Trichodesmium* sp. es considerada una especie dominante y responsable de la fijación de nitrógeno en aguas oligotróficas oceánicas tropicales y subtropicales (Capone *et al.* 1997). El bajo número de especies de cianobacterias que se encontraron en el presente estudio también se puede explicar porque la mayoría de estas pertenecen al picoplancton (tamaños entre 0,2 y 2 µm), escapando debido al tamaño de poro de la red empleada (20 µm).

Las especies de silicoflagelados y clorófitas, en general, son considerados muy escasos en el plancton marino. Los silicoflagelados solo presentan unas pocas especies conocidas y generalmente son más abundantes en aguas frías (Lalli y Parsons 1997). Estos grupos solo se observaron en una ocasión durante este estudio, confirmando su poca presencia en la zona.

El grupo de las diatomeas presentó una alta dominancia en cuanto a su abundancia porcentual en todas las estaciones. Las diatomeas se han descrito como el grupo dominante en abundancia en la comunidad de fitoplancton de aguas oceánicas, siendo una importante fuente de alimento para los organismos marinos. Las diatomeas son responsables de una quinta parte de la fotosíntesis terrestre y cada año producen tanto carbón orgánico como todos los bosques húmedos terrestres. Este carbón producido por las diatomeas es rápidamente consumido y sirve como la base de la cadena trófica marina. En zonas costeras, las diatomeas sostienen las más grandes áreas pesqueras y en el océano una parte de esta materia orgánica de diatomeas se precipita, convirtiéndose en la fuente de alimento para los organismos del fondo marino. Debido a la gran importancia que tienen las diatomeas en el ciclo global del carbono y a su importancia en las pesquerías, su estudio se ha enfocado en entender los factores ecológicos que afectan su composición de especies (Field *et al.* 1998, Hamm *et al.* 2003, Armbrust 2009).

Cabe destacar que en las diatomeas las formas planctónicas son principalmente centrales y las formas bentónicas son generalmente pennales (Balech 1977, Lalli y Parson 1997). La mayor abundancia de especies que pertenecen al orden centrales en esta zona de muestreo en el mar Caribe colombiano indicaría que es un ambiente donde se dan procesos de estratificación de la columna de agua, es decir con aguas más estables debido a que no hay procesos de mezcla. El aumento de la abundancia de las diatomeas pennales hacia la zona suroccidental y la de dinoflagelados y cianobacterias hacia la zona nororiental demuestra que existe una diferenciación entre estas zonas. Esto puede ser explicado por la influencia de la desembocadura de varios ríos hacia la zona suroccidental, como son el río Magdalena, río Atrato y río Sinú. El aporte de aguas continentales suministra nutrientes a la columna de agua oceánica, lo que es aprovechado con más eficacia por las diatomeas y además, las zonas de mezcla de aguas dulce-marinas parecen favorecer a las diatomeas pennales.

La diversidad del fitoplancton marino presenta valores entre 1 y 2,5 (índice de Shannon-Wiener) en zonas costeras, mientras en zonas oceánicas suele encontrarse entre 3,5 y 4,5 y en algunas ocasiones se presentan valores superiores (Margalef 1982). El amplio rango de valores encontrados en los índices de diversidad en este estudio indica que las estaciones presentan una composición biológica muy heterogénea, pero en general con valores característicos de zonas oceánicas. Las estaciones ubicadas en la zona nororiental son menos diversas y esto se observó al ver la dominancia en la abundancia de *P. alata* f. *gracillima* y *T. erithraeum* en las estaciones E253 (72%), E255 (52%) y E256 (39%). Se considera que en las áreas de afloramiento de aguas profundas la diversidad y la riqueza de especies disminuye, y esta zona de La Guajira es reconocida por ser un área de surgencia (Corredor 1979, Margalef 1982, Snelgrove 2001, Andrade y Barton 2005) lo que podría explicar estos bajos valores de diversidad. Los valores más altos de diversidad se encuentran en las estaciones ubicadas en la zona de la

desembocadura del río Magdalena. Esta zona de mezcla de aguas continentales y aguas marinas que favorecen la riqueza de especies también fue registrada por Ferguson-Wood (1971), quien comenta que la zona al norte de Barranquilla que presenta aguas ricas en fitoplancton necesita estudios más intensos. La alta diversidad en esta zona puede ser explicada por la teoría del disturbio intermedio. Esta teoría postula que la alta diversidad se mantiene en disturbios de escala intermedia. En eventos de bajo disturbio la exclusión competitiva reduce la diversidad; por el contrario cuando se presenta un alto disturbio solo unas pocas especies logran sobrevivir a rápidos cambios ambientales (Connell 1978, Polishchuk 1999, Elliott *et al.* 2001). La mezcla de aguas del ecosistema acuático continental (río Magdalena) con el ecosistema acuático marino podría considerarse como un disturbio de escala intermedia. En tal caso, dicha condición favorece la presencia de varios tipos funcionales de ambos ecosistemas acuáticos, llevando a un máximo de diversidad a la comunidad fitoplanctónica en esta zona.

En general, se observó que la comunidad fitoplanctónica en este transecto sobre el Caribe colombiano mostró pocas especies presentes en la mayoría de estaciones; estas pocas especies fueron las más abundantes y dominantes. Por el contrario, la mayoría de especies se presentaron en una o pocas estaciones y fueron poco abundantes. Es decir, las especies raras o poco comunes predominaron en la comunidad fitoplanctónica, representando el 74,2 % de las especies identificadas. Las especies raras son de especial importancia en la configuración general de la diversidad de especies. Si las especies raras constituyen el mayor componente de la riqueza de especies, pueden desempeñar un papel vital como la “red de seguridad” para la conservación de la comunidad y la diversidad (Ignatiades *et al.* 2009). La diversidad de especies influye significativamente en el funcionamiento del ecosistema y, a su vez, proporciona soporte para la conservación de la biodiversidad. Siempre se ha creído que la conservación de unas pocas especies que son las más abundantes es suficiente para

mantener la mayoría de procesos, pero estudios recientes han evaluado como las especies raras y menos comunes contribuyen significativamente al funcionamiento de los ecosistemas (Lyons *et al.* 2005). La diversidad del fitoplancton, la del zooplancton y la de los peces pelágicos en un lugar determinado muestran correlación positiva. Por esta razón es lícito postular que la diversidad de peces pelágicos en un área puede dar una idea de la diversidad fitoplanctónica que es probable encontrar en las mismas aguas (Margalef 1982).

La especie *P. alata* f. *gracillima* es la más abundante de las diatomeas centrales, esta especie hizo que este grupo de diatomeas fuera abundante. Este género es cosmopolita, reconocido como planctónico en hábitats neríticos y oceánicos que presentan altas temperaturas y baja concentración de nutrientes, y con ausencia de procesos de mezcla. La salinidad al parecer tiene un fuerte efecto en la presencia de esta especie, asociándose altas abundancias a mayores salinidades (Saunders 1967). La especie *Proboscia indica* considerada oceánica y tropical, se encontró en la zona nororiental, presentando su mayor abundancia en la estación E258. La especie *Proboscia alata* f. *gracillima* aunque se presentó en todas las estaciones, su mayor abundancia se observó en las estaciones E253 y E255. Estos resultados confirman que las aguas de mayor salinidad que se presentan en la zona nororiental (Ver Lozano-Duque *et al.* capítulo II de oceanografía) favorecen la presencia de estas especies. Aunque se conoce poco sobre la importancia de estas especies en la cadena trófica marina, por su alta abundancia y distribución se esperaría que tuvieran un papel importante en la comunidad pelágica.

La especie *P. alata* es considerada una de las diatomeas más grandes de la comunidad fitoplanctónica marina (Saunders 1967). Las zonas de surgencias son dominadas por especies de diatomeas coloniales y por las que forman cadenas que presentan grandes tamaños celulares. Estas especies de gran tamaño presentan una rápida tasa de crecimiento y una mayor capacidad de

absorber los nuevos nutrientes aportados por la surgencia, que las especies del pico y nanoplancton. Las diatomeas grandes son forrajeadas por organismos grandes que presentan largos ciclos reproductivos, como son los peces clupéidos, copépodos y eufasiáceos. Debido a que los peces y el zooplancton no pueden reproducirse tan rápido como las diatomeas, estas últimas terminan alcanzando grandes densidades debido a que no hay organismos que controlen su abundancia por medio del forrajeo (Barber 2001). Esta situación podría explicar el por que la especie *P. alata* f. *gracillima* llega a ser tan abundante en la zona nororiental. El grupo de las Rhizosoleniales al cual pertenece el género *Proboscia*, debido al tamaño celular y su abundancia, terminan precipitándose hacia el fondo. Por esta razón, se considera que este grupo puede transportar significativas cantidades de carbono producido en la zona eufótica hacia aguas profundas (Sancetta *et al.* 1991).

La abundancia del grupo de cianobacterias se debe a la presencia de la especie *T. erythraeum*. Esta es una cianobacteria marina colonial que ha sido reportada en el Atlántico tropical y subtropical, Pacífico e Índico, como también en el mar Caribe y el Mar del sur de China. Las especies de *Trichodesmium*, son colonias fijadoras de nitrógeno en aguas oligotróficas tropicales. En el Océano Atlántico Tropical Norte, este género es el productor primario más importante (aproximadamente 165 mg C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>). Una vez las regiones oligotróficas son dominadas por especies de *Trichodesmium*, llegan a ser de gran importancia en el balance del nitrógeno (Capone *et al.* 1997, Staal *et al.* 2003). Según Navarro *et al.* (2000) la abundancia de *Trichodesmium* spp. en el mar Caribe está relacionada con la baja velocidad del viento y la ausencia de las aguas del río Orinoco. La presencia de este río (el cual tiene un efecto considerable en el área), se determina por una baja concentración de sílice y de nitrato en aguas superficiales del mar Caribe. Además, determinaron que la abundancia de *Trichodesmium* spp. disminuyó a cero en áreas ricas en nutrientes. La presencia de *Trichodesmium* en todas las

estaciones evaluadas en el presente trabajo puede relacionarse a la baja concentración de nutrientes que presentan las aguas del mar Caribe. La mayor abundancia de *Trichodesmium* en la zona nororiental (E253, E255 y E256) puede ser favorecida por la baja influencia de aguas continentales y/o una baja concentración de compuestos nitrogenados; la disminución de su abundancia hacia la zona suroccidental se puede explicar por el aporte de aguas continentales con mayor concentración de nutrientes.

La formación de dos grupos de la comunidad fitoplanctónica, a nivel espacial, demostró que la distribución de las especies del mar Caribe colombiano varía entre las estaciones ubicadas en la zona nororiental con respecto a las estaciones de la zona suroccidental. Esta división también se presenta a nivel de las condiciones oceanográficas. Las variables fisicoquímicas del agua (temperatura, salinidad, oxígeno y densidad del agua de mar) en estas estaciones a nivel superficial presentaron una diferenciación entre las estaciones ubicadas en la zona nororiental influenciada por aguas continentales y la zona suroccidental con influencia de aguas de surgencia (Ver Lozano-Duque *et al.* capítulo II de oceanografía). Igualmente Bernal *et al.* (2006) encontraron una marcada variación espacial en la temperatura superficial del agua en el mar Caribe colombiano, explicando este fenómeno por la influencia del giro Panamá-Colombia en la zona suroccidente y la surgencia de La Guajira en la zona nororiente. Estos resultados indican que la distribución de las especies fitoplanctónicas puede estar relacionada con las condiciones ambientales de la zona de estudio.

Entre estas dos áreas (nororiente y suroccidente) se observó un cambio en las especies más abundantes. En general, éstas especies son las mismas en todas las estaciones, solo cambiaron su porcentaje de abundancia. En la zona suroccidental dominaron las especies *Thalassionema frauenfeldii*, *T. nitzschoides* y *Bacteriastrum* spp. siendo esta última citada por Ferguson-Wood (1968b)

como una especie bentónica característica de las comunidades fitoplanctónicas neríticas de la plataforma continental suramericana. Este autor también cita a *Bacteriastrum* spp. y muchas especies del género *Chaetoceros* como importantes indicadores de aguas de la plataforma continental. Ferguson-Wood (1968b) define al género *Hemiaulus* como un indicador de la presencia de las aguas de la Corriente Ecuatorial Norte, en especial las especies *H. hauckii*, *H. membranaceus* y *H. sinensis*, siendo las dos primeras identificadas como abundantes en el presente muestreo. Estas especies de *Hemiaulus* se presentan en aguas oceánicas y continentales y se encuentran en el Golfo de México, estrecho de La Florida y en el canal Providencia. El grupo de la zona nororiental identificado en el presente trabajo, mostró una baja riqueza de especies y una marcada abundancia de *P. alata* f. *gracillima* y *T. erithraeum* especialmente en las estaciones ubicadas más hacia el norte (E253, E255 y E256). Es interesante observar que cuando se presentó una baja riqueza de especies, las especies *P. alata* f. *gracillima* y *T. erithraeum* tendieron a una mayor abundancia.

En general, las especies que se presentaron como abundantes son clasificadas como de zonas costeras y se han registrado como abundantes en estudios realizados en esta zona (Takano 1960, Hulburth 1968, Marshall y Solder 1982). Esto indica que las estaciones evaluadas, y en especial las que están ubicadas en la zona suroccidental, presentaron aun una fuerte influencia de la zona costera. Aunque en este estudio no se realizó, es importante determinar como varía la composición y abundancia de la comunidad fitoplanctónica en el mar Caribe colombiano, desde la línea de costa hacia mar abierto. Por lo tanto, es recomendable en próximos estudios realizar transectos perpendiculares a la línea de costa.

La especie *Skeletonema costatum*, típica de zonas estuarinas, solo se encontró en la estación E261, que se encuentra dentro del sector de influencia de la desembocadura del río Magdalena y de otros ríos de menor tamaño que nacen en la Sierra Nevada de Santa Marta.

Según Ferguson-Wood (1968b), esta especie, junto con algunas especies de *Pleurosigma* (en especial *P. distortum*) indican, en la zona este del mar Caribe, la presencia de aguas del río Amazonas, por lo que *S. costatum* se asocia a aguas salobres por el aporte de grandes ríos, ya que también ha sido registrada en alrededores de la desembocadura del río Mississippi (USA).

Se observó que cada estación presentó una cantidad de especies que fueron únicas con respecto al resto de sitios, corroborado por la alta tasa de recambio de especies (diversidad beta). La mayoría de especies con un solo registro fueron especies de dinoflagelados, confirmando que este es un grupo diverso en zonas tropicales oceánicas sin llegar a ser abundantes. Las estaciones E255, E259, E256 y en especial E253, que conforman el grupo nororiental, presentaron un alto valor de diversidad beta y la más baja riqueza de especies de todo el muestreo. Esta condición hace que estas estaciones se diferencien por la ausencia de la mayoría de especies que se encuentran en la zona suroccidental. En la estación E253 no se encontraron especies de diatomeas pennales y fue el único registro de las especies *Gonyaulax* cf. *scrippsae*, *Protoperidinium divergens-acutipes*, Dinoflagelado sp. 1 y una especie de Clorófitas.

Las estaciones de la zona suroccidental presentaron menores valores de diversidad beta debido al aumento del número de especies y a que éstas se presentan en diferentes sitios. La estación E258, la cual se ubica más hacia aguas oceánicas, presentó el valor más bajo de diversidad beta y los valores más altos del índice de diversidad (H') y de riqueza de especies, lo que indica que esta estación tiene una buena representatividad de las especies presentes en toda la zona de estudio. La estación E258, aunque geográficamente se encuentra en la zona de La Guajira, con base en el dendrograma se agrupó dentro de la zona suroccidental, y presentó una alta similaridad con las estaciones E261 y E262. Esta situación se debe a la alta riqueza de especies que presentaron estos sitios.

Es de particular interés explicar porque la estación E258 que se encuentra en la zona nororiental y bastante alejada de la línea de costa, se agrupó con las estaciones E261 y E262, las cuales se ubican más al sur y cerca de la costa sobre la desembocadura del río Magdalena. En estas tres estaciones se identificaron 120 taxones, de las cuales 27 se presentaron en las tres estaciones. En la estación E258, de los 76 taxones identificados, 24 no se registraron en las otras dos estaciones (E261 y E262), indicando que 52 taxones se comparten con al menos una de las dos estaciones. De los 24 taxones únicos en la E258, 18 son especies de dinoflagelados, demostrando que la ubicación de la estación hacia aguas oceánicas favorece la presencia de especies de este grupo, en especial del género *Neoceratium*. Las estaciones E261, E262 y E263, que también presentaron muy bajos valores de diversidad beta, se encuentran ubicadas en la zona de la desembocadura del río Magdalena. Esta área, por ser una zona de mezcla de aguas dulces y marinas, favorece la riqueza de especies fitoplanctónicas tanto de origen oceánico como continental.

De las 21 especies de la estación E253, 11 especies se registraron solo en esta estación y no se presentaron en los demás lugares de muestreo, las estaciones E262 y E263 presentaron, cada una, 10 especies que solo se registraron en dichas estaciones. Esta situación hace que estas estaciones fueran las que presentaron el mayor número de especies raras. Las estaciones E258 y E261 presentaron cada una 10 especies que se registraron únicamente en dos estaciones. Esta condición de muchas especies que fueron registradas solo en una o cuatro estaciones, indica que hay una alta exclusividad de cada estación por las especies que presenta.

La diversidad beta representa el recambio o la diferencia en composición de especies a medida que va de un lugar a otro, por lo cual, los resultados de este estudio indican que hay grandes diferencias en la composición de especies entre sitios. Además, cuando se incrementó el área de estudio y su correspondiente número de muestras, se

incrementó proporcionalmente el número de especies. Este resultado confirma la existencia de una relación entre la riqueza de especies fitoplanctónicas y el área de muestreo, lo cual ha sido encontrado en varios trabajos (Smith *et al.* 2005, Ignatiades *et al.* 2009).

Cada ecosistema tiene unos factores y regímenes de perturbación natural característicos, con umbrales de magnitud, intensidad y frecuencia de perturbación más allá de los cuales se presenta un cambio cualitativo y el sistema deriva a un estado de organización diferente. Las comunidades pueden describirse de acuerdo con características estructurales y funcionales como son los patrones de abundancia y biomasa de las especies, la presencia de especies dominantes o especies raras, la estructura de gremios y de redes tróficas y las variaciones temporales, entre otras. No todas las especies enfrentan el mismo riesgo de extinción. Las especies raras son más vulnerables que las especies comunes (Gómez-Posada 2008). Con base en los resultados de este estudio se determinó que la distribución geográfica de la comunidad fitoplanctónica evaluada presentó un alto endemismo, lo cual hace frágil al ecosistema pelágico ante cualquier evento perturbador.

## CONCLUSIONES

Se realizó un valioso aporte al conocimiento taxonómico de especies de fitoplancton en aguas del mar Caribe colombiano, logrando disminuir el gran vacío que existe en este tema. Entre los taxones identificados se encuentran especies que son nuevos registros para el área. En total se identificaron 198 taxones donde la mayoría son características de aguas tropicales y subtropicales.

Con base a la composición y abundancia porcentual de las especies fitoplanctónicas identificadas en este estudio, se determinó una marcada diferenciación espacial, donde los sitios de muestreo se dividen en dos zonas, una zona nororiental y una zona suroccidental. Esta

última a su vez se divide en dos subgrupos, un subgrupo que representa la zona de desembocadura del río Magdalena y el otro en la zona más suroccidental del transecto. Esta variación espacial de la comunidad fitoplanctónica puede estar relacionada a las condiciones fisicoquímicas presentes en las áreas evaluadas.

La comunidad fitoplanctónica en este estudio mostró al grupo de las diatomeas como dominante en cuanto a la abundancia porcentual, y al grupo de los dinoflagelados dominante por su mayor riqueza de especies. En general, existe una alta presencia y abundancia en toda el área de *Proboscia alata* f. *gracillima* y *Trichodesmium erithraeum*, y el resto de especies presentan una distribución restringida con poca abundancia, lo que lleva a concluir que la comunidad fitoplanctónica en este estudio es dominada por las especies raras o poco comunes.

## PERSPECTIVAS Y VACÍOS

La medición de la biodiversidad a escala biogeográfica es quizás uno de los problemas actualmente más urgentes y al mismo tiempo, uno de los que disponen de menos información. Es este un problema en el que las herramientas metodológicas disponibles superan nuestra capacidad de medir realmente la magnitud del fenómeno. Existen en la actualidad sistemas de información geográfica y de análisis de imágenes cartográficas que podrían permitir mapear con una gran precisión los patrones de biodiversidad, si se tuviera la información adecuada y disponible para alimentar estos programas. Desafortunadamente esto no es así. Las bases de datos disponibles son pobres, sobretodo en lo que respecta a la ubicación geográfica de los sitios de colecta u observación. Si se dispusiera de información digitalizada sobre la distribución y la cronología de las especies de diferentes taxones, podrían realizarse mapas de patrones y tendencias biogeográficas de la biodiversidad, representaciones cartográficas de los sitios de alto endemismo y análisis estadístico de barreras y corredores geográficos (<http://www.biotech.bioetica.org/clase3-1.htm>).

El estudio de la comunidad fitoplanctónica en las zonas marinas colombianas es un tema aun por desarrollar, internacionalmente el estudio de esta comunidad es una herramienta de importante uso en el manejo y conservación de áreas marinas. A nivel mundial se vienen desarrollando grandes esfuerzos en el estudio de la ecología del fitoplancton como una herramienta útil frente a los eventos de calentamiento global, exceso de CO<sub>2</sub> atmosférico y el incremento en la intensidad, duración y distribución del fenómeno de floraciones algales y sus adversos efectos en la salud humana, en las explotaciones de acuicultura, turísticas y en los organismos marinos.

Caracterizar la estructura y composición de la comunidad fitoplanctónica y evaluar su variación temporal y espacial permite interpretar la funcionalidad ecológica de cada grupo fitoplanctónico y su importancia en la productividad del ecosistema pelágico de la zona de estudio. El fenómeno de las floraciones algales en áreas marinas es un tema sin investigar en las costas colombianas. Es importante implementar estaciones fijas en áreas estratégicas donde se realicen mediciones periódicas que permitan conocer más acerca de la variación temporal y espacial del fitoplancton y que en un futuro esta información sea utilizada como base para la toma de decisiones en cuanto a manejo y conservación de las áreas marinas colombianas.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) de Colombia y al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-Invemar por el apoyo y financiación del proyecto “Especies, ensamblajes y paisajes de los bloques marinos sujetos a exploración de hidrocarburos” dentro del cual se desarrolló el presente trabajo. A los investigadores Alan Giraldo PhD por su valiosa asesoría y colaboración y a Carolina Gómez-Posada PhD por sus sugerencias en el manuscrito.

## REFERENCIAS

- Ald, S.M., A.G.B. Simpson, M.A. Farmer, R.A. Andersen, O.R. Anderson, J.R. Barta, S.S. Bowser, G. Brugerolle, R.A. Fensome, S. Fredericq, T.Y. James, S. Karpov, P. Kugrens, J. Krug, Ch. E. Lane, L.A. Lewis, J. Lodge, D.H. Lynn, D.G. Mann, R.M. Mccourt, L. Mendoza, Ø. Moestrup, Sh.E. Mozley-Standridge, T.A. Nerad, C.A. Shearer, A.V. Smirnov, F.W. Spiegelz y M.F.J.R. Taylor. 2005. The New Higher Level Classification of Eukaryotes with Emphasis on the Taxonomy of Protists. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 52(5): 399-451.
- Al-Sabouni, N., M. Kucera y D.N. Schmidt. 2007. Vertical niche separation control of diversity and size disparity in planktonic foraminifera. *Marine Micropaleontology*, 63: 75-90.
- Andrade, C.A. y E.D. Barton. 2005. The Guajira upwelling system. *Continental shelf research*, 25(9): 1003-1022.
- Armbrust, E.V. 2009. The life of diatoms in the world's oceans. *Nature*, 459: 185-192.
- Balech, 1977. Introducción al fitoplancton marino. Editorial Universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires. 211 p.
- Balech, E. 1988. Los dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental. Publicaciones especiales, Instituto Español de Oceanografía, Vigo. Número 1. 310 p.
- Barber, R.T. 2001. Upwelling ecosystem. 3128 - 3135. En: Steele, J. H., S. A. Thorpe y K.K. Turekian, (Eds.). *Encyclopedia of Ocean Sciences*. Academic Press, San Diego, USA. 3399 p.
- Bernal, G., G. Poveda, P. Roldán y C. Andrade. 2006. Patrones de variabilidad de las temperaturas superficiales del mar en la costa Caribe colombiana. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 30 (115): 195-208.
- Bianchi, T.S., B. Johansson y R. Elmgren. 2000. Breakdown of phytoplankton pigments in Baltic sediments: effects of anoxia and loss of deposit-feeding macrofauna. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 251: 161-183.
- Capone, D.G., J.P. Zehr, H.W. Paerl, B. Bergman y E.J. Carpenter. 1997. *Trichodesmium*, a Globally Significant Marine Cyanobacterium. *Science*, 276: 1221-1229.
- Chrétiennot-Dinet, M.J., A. Sournia, M. Richard y C. Billard. 1993. A classification of the marine phytoplankton of the world from class to genus. *Phycologia*, 32: 159-179.
- Colebrook, J.M. 1969. Variability in the Plankton. *Progress in Oceanography*, 5: 115-125.
- Connell, J. H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199:1302-1310.
- Corredor, J.E. 1979. Phytoplankton response to low level nutrient enrichment through upwelling in the Colombian Caribbean basin. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 26A: 731-741.
- Dawes, C.J. 1991. Botánica Marina. Editorial Limusa S.A., México. 673 p.
- Elliott, J.A., A.E. Irish y C.S. Reynolds. 2001. The effects of vertical mixing on a phytoplankton community: a modelling approach to the intermediate disturbance hypothesis. *Freshwater Biology*, 46: 1291-1297.
- Falkowski, P.G., M.E. Katz, A.H. Knoll, A. Quigg, J.A. Raven, O. Schofield y F.J.R. Taylor. 2004. The Evolution of Modern Eukaryotic Phytoplankton. *Science*, 305: 354-360.
- Falkowski, P.G. y A.H. Knoll. 2007. Evolution of Primary Producers in the Sea. Elsevier Academic Press, Amsterdam. 441 p.
- Field, Ch.B., M.J. Behrenfeld, J.T. Randerson, P. Falkowski. 1998. Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components. *Science*, 281(5374): 237-240.
- Ferguson-Wood, E.J. 1968a. Dinoflagellates of the Caribbean sea and adjacent areas. University of Miami, La Florida. 143 p.
- Ferguson-Wood, E.J. 1968b. Studies of phytoplankton ecology in tropical and subtropical environments of the Atlantic Ocean. Part 3. Phytoplankton communities in the Providence channels and the Tongue of the Ocean. *Bulletin of Marine Science*, 18(2): 481-543.
- Ferguson-Wood, E.J. 1971. Phytoplankton distribution in the Caribbean region. 399-410. En: Symposium on investigations and resources of the Caribbean Sea and adjacent regions, Willemstad, Curacao. Netherlands Antilles, 18-26 November 1968. UNESCO, Paris. 545 p.
- Ferreira, J.G., W.J. Wolff, T.C. Simas y S.B. Bricker. 2005. Does biodiversity of estuarine phytoplankton depend on hydrology?. *Ecological Modelling*, 187:513-523.
- Gomez, F. 2005 A list of free-living dinoflagellate species in the world's oceans. *Acta botanica Croatica*, 64 (1): 129-212.
- Gómez, F., K. Furuya y S. Takeda. 2005. Distribution of the cyanobacterium *Richelia intracellularis* as an epiphyte of the diatom *Chaetoceros compressus* in the western Pacific Ocean. *Journal of Plankton Research*, 27(4): 323-330.
- Gómez-Posada, C. 2008. Amenazas a la biodiversidad. 69-82. En: Kattan G. y L.G. Naranjo (Eds). *Regiones biodiversas: Herramientas para la planificación de sistemas regionales de áreas protegidas*. WCS-ECOANDINA-WWF. 224 p.
- Hamm, Ch.E., R. Merkel, O. Springer, P. Jurkojc, Ch. Maier, K. Prechtel y V. Smetacek. 2003. Architecture and material properties of diatom shells provide effective mechanical protection. *Nature*, 421: 841-843.
- Hasle, G.R. 1976. The biogeography of some marine planktonic diatoms. *Deep-Sea Research*, 23: 319-338.
- Hulbuth, E.M. 1968. Phytoplankton observations in the western Caribbean Sea. *Bulletin of Marine Science*, 18(2): 388-299.
- Humm, H.J. y S.R. Wicks. 1980. Introduction and guide to the marine bluegreen algae. Wiley-Interscience Publication, New York. 194 p.
- Ignatiades, L., O. Gotsis-Skretas, K. Pagou y E. Krasakopoulou. 2009. Diversification of phytoplankton community structure and related parameters along a large-scale longitudinal east-west transect of the Mediterranean Sea. *Journal of Plankton Research*, 31(4): 411-428.
- Karl, D., A. Michaels, B. Bergman, D. Capone, E. Carpenter, R. Letelier, F. Lipschultz, H. Paerl, D. Sigman y L. Stal. 2002. Dinitrogen Fixation in the World's Oceans. *Biogeochemistry*, 57: 47-98.
- Kleppel, G.S. 1992. Environmental regulation of feeding and egg production by *Acartia tonsa* off southern California. *Marine Biology*, 112: 57-65.
- Lalli, C. y T. Parsons. 1997. Biological Oceanography: an introduction. Elsevier, Amsterdam. 313 p.
- Longhurst, A. 2001. Pelagic biogeography. 4:2114-2122. En: Steele, J. H., S. A. Thorpe y K.K. Turekian, (Eds.). *Encyclopedia of Ocean Sciences*. Academic Press, San Diego, USA. 3399 p.
- Lozano-Duque, Y., Medellín, J. y Navas, G.R. Capitulo en este volumen. Oceanografía del mar Caribe colombiano.
- Lozano-Duque, Y., L.A. Vidal y G.R. Navas. a-en imprenta. Listado de diatomeas (Bacillariophyta) registradas para el mar Caribe colombiano. *Boletín de investigaciones Marinas y costeras*.
- Lozano-Duque, Y., L.A. Vidal y G.R. Navas. b-en imprenta. Lista de especies de dinoflagelados (Dinoflagellata) registrados en el mar Caribe colombiano. *Boletín de investigaciones Marinas y costeras*.
- Lyons, K.G., C.A. Brigham, B.H. Traut, y M.W. Schwartz. 2005. Rare Species and Ecosystem Functioning. *Conservation Biology*, 19(4): 1019-1024.
- Margalef, R. 1969. El ecosistema pelágico del mar Caribe. Separata de la Memoria de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle, Caracas, Venezuela. Tomo XXIX, número 32. 36 p.
- Margalef, 1982. Ecología. Ed. Omega. Barcelona. 951 p.
- Marshall, H.G. y J.A. Solder. 1982. Pelagic phytoplankton of the Caribbean Sea. *Bulletin of Marine Science*, 32:354-365.
- Navarro, J.N. y D.U. Hernández-Becerril. 1997. Listados Florísticos de México. XV. Check-list of Marine Diatoms from the Caribbean Sea. Instituto de Biología, UNAM, México. 48 p.
- Navarro, A., J.E. Corredor, J. Morell y A. Armstrong. 2000. Distribution of the cyanophyte *Trichodesmium* (Oscillatoriaceae) in the eastern Caribbean Sea: influence of the Orinoco River. *Revista de Biología Tropical*, 48 (1): 115-124.
- Nixon, S.W. 1995. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, 41: 199-219.
- Paerl, H.W. 1988. Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine, and inland waters. *Limnology and Oceanography*, 33(4, part 2): 823-47.
- Paerl H.W., J.D. Julianne, P.H. Moisaner, R.T. Noble, M.F. Piehler, J.L. Pinckney, T.F. Steppe, L. Twomey y L.M. Valdes. 2003. Microbial indicators of aquatic ecosystem change: current applications to eutrophication studies. *FEMS Microbiology Ecology*, 46:233-246.
- Polishchuk, L.V. 1999. Contribution Analysis of Disturbance-Caused Changes in Phytoplankton Diversity. *Ecology*, 80(2):721-725.
- Raymont, J.E.G. 1963. Plankton and productivity in the oceans. Pergamon Press, Oxford. 660 p.
- Round, F.E., R.M. Crawford y D.G. Mann. 1990. The Diatoms. Biology and morphology of the genera. Cambridge University Press, Londres. 747 p.
- Sancetta, C., T. Villareal, P. Falkowski. 1991. Massive Fluxes of Rhizosolenid Diatoms: A Common Occurrence?. *Limnology and Oceanography*, 36(7): 1452-1457.
- Saunders, R.P. 1967. Leaflet series: Phytoplankton. Florida Board of Conservation. Division of Salt Water Fisheries. Marine Laboratory. St. Petersburg, Florida. Volumen I Parte 2 No. 4: 1 -8.
- See, J.H., L. Campbell, T.L. Richardson, J.L. Pinckney y R. Shen. 2005. Combining new technologies for determination of phytoplankton Community structure in the northern Gulf of Mexico. *Journal of Phycology*, 41: 305-310.
- Simon, N., A.L. Cras, E. Foulon y R. Lemée. 2009. Diversity and evolution of marine phytoplankton. *Comptes rendus Biologies*, 332: 159-170.
- Smayda, T.J. 1958. Biogeographical Studies of Marine Phytoplankton. *Oikos*, 9(2): 158-191.
- Smith, Val H., B.L. Foster, J.P. Grover, R.D. Holt, M.A. Leibold, F. deNoyelles y Jr., S.R. Carpenter. 2005. Phytoplankton species richness scales consistently from laboratory microcosms to the world's oceans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(12): 4393-4396.
- Snelgrove, P.V.R. 2001. Diversity of marine species. 748-757. En: Steele, J. H., S. A. Thorpe y K.K. Turekian, (Eds.). *Encyclopedia of Ocean Sciences*. Academic Press, San Diego, USA. 3399 p.
- Sournia, A., M.J., Chrétiennot-Dinet, y M. Ricard. 1991. Marine phytoplankton: how many species in the world ocean?. *Journal of Plankton Research*, 13(5): 1093-1099.

Staal, M., F.J. R. Meysman y L. J. Stal. 2003. Temperature excludes N<sub>2</sub>-fixing heterocystous cyanobacteria in the tropical oceans. *Nature*, 425: 504-507.

Takano, H. 1960. Plankton diatoms in the Eastern Caribbean Sea. *Journal of the Oceanographical Society of Japan*, 16(4): 180-184.

Taylor, F.J.R. 1987. The biology of dinoflagellates. Blackwell Scientific, Oxford. 785 p.

Tett, P. 2004. Detecting undesirable disturbance in the context of eutrophication in marine ecosystems. Developing management, monitoring and indicators to deliver the ecosystem approach in the coastal and marine environment. A CoastNET Conference October 6th. SOAS University of London, London,24-41.

Tomas, C. 1996. Identifying Marine Phytoplankton. Academic Press, San Diego, California, USA. 598 p.

van Beusekom, J.E.E., D. Mengedoh, Ch.B. Augustin, M. Schilling, M. Boersma. 2007. Phytoplankton, protozooplankton and nutrient dynamics in the Bornholm Basin (Baltic Sea) in 2002–2003 during the German GLOBEC Project. *International Journal of Earth Sciences*, 98(2):251-260.

Waterbury, J.B., S.T. Watson, R.R.L. Guillard y L.E. Brand. 1979. Widespread occurrence of a unicellular, marine, planktonic, cyanobacterium. *Nature* 277: 293-294.

Whittaker, R. H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21:213-251.

Anexo 1. Lista de especies fitoplanctónicas identificadas en las estaciones de muestreo indicando su presencia-ausencia.

Grupo	Especie	253	255	256	258	259	261	262	263	264	265	266	267	268
Cianobacteria	<i>Synecococcus</i> sp. 1	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Richelia</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Trichodesmium erythraeum</i> Ehrenberg ex Gomont, 1892	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Diatomeas centrales	<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenberg) Cleve, 1904	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve, 1878	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve, 1889	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Coscinodiscus gigas</i> Ehrenberg, 1841	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0
	<i>Coscinodiscus granii</i> Gough, 1905	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0
	<i>Coscinodiscus</i> sp. 2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg, 1841	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Coscinodiscus</i> sp.1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Azpeitia</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
	<i>Asteromphalus flabellatus</i> (Brébisson) Greville, 1859	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0
	<i>Asteromphalus heptactis</i> (Brébisson) Ralfs, 1861	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Asterolampira</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0
	<i>Pseudoguinardia</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Rhizosolenia castracanei</i> Peragallo, 1888	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Continuación de Anexo 1.

Grupo	Especie	253	255	256	258	259	261	262	263	264	265	266	267	268
	<i>Rhizosolenia clevei</i> Ostenfeld, 1902	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Rhizosolenia</i> sp. 3	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Rhizosolenia setigera</i> Brightwell, 1858	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Rhizosolenia</i> sp. 1	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Rhizosolenia</i> sp. 2	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Pseudosolenia calcar-avis</i> (Schultze) Sundström, 1986	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Neocalyptrella</i> sp. 1	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Proboscia alata</i> f. <i>gracillima</i> (Brightwell) Sundström, 1996	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Proboscia alata</i> f. <i>indica</i> (Peragallo) Ostenfeld	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Guinardia</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Guinardia flaccida</i> (Castracane) H. Peragallo, 1892	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0
	<i>Guinardia striata</i> (Stolterfoth) G.R. Hasle, 1996	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0
	<i>Dactylosolen</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Biddulphiopsis membranacea</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Trigonium</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Cerataulina pelagica</i> (Cleve) Hendey, 1937	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0
	<i>Climacodium</i> sp. 1	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Eucampia cornuta</i> (Cleve) Grunow in Van Heurck, 1885	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Continuación de Anexo 1.

Grupo	Especie	253	255	256	258	259	261	262	263	264	265	266	267	268
	<i>Hemiaulus hauckii</i> Grunow in Van Heurck, 1882	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Hemiaulus membranaceus</i> Cleve, 1873	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
	<i>Hemiaulus sinensis</i> Gréville, 1865	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Bacteriastrium</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0
	<i>Bacteriastrium</i> sp. 2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder, 1864	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Chaetoceros</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Chaetoceros coarctatus</i> Lauder, 1864	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Chaetoceros</i> sp. 2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0
	<i>Chaetoceros curvisetus</i> P.T. Cleve, 1889	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Chaetoceros</i> sp. 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0
	<i>Chaetoceros diversus</i> Cleve, 1873	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Chaetoceros lorenzianus</i> Grunow, 1863	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Chaetoceros messanensis</i> Castracane, 1875	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Chaetoceros pelagicus</i> P.T. Cleve, 1873	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0
	<i>Chaetoceros peruvianus</i> Brightwell, 1856	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0
	<i>Chaetoceros</i> sp. 4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0

## Continuación de Anexo 1.

Grupo	Especie	253	255	256	258	259	261	262	263	264	265	266	267	268
	<i>Chaetoceros</i> sp. 5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Helicotheca tamesis</i> (Shrubsole) Ricard, 1987	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Odontella mobiliensis</i> (J.W. Bailey) Grunow, 1884	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Céntrica</i> f. 1	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Diatomeas pennales</b>														
	<i>Neodélphinis</i> sp. 1	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Thalassionema frauenfeldii</i> (Grunow) Hallegraeff, 1986	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Thalassionema nitzschioides</i> Grunow ex Hustedt, 1932	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Thalassionema</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Lioloma pacificum</i> (Cupp) Hasle, 1996	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Asterionellopsis glacialis</i> (Castracane) Round in Round <i>et al.</i> , 1990	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Asterionella notata</i> (Grunow) Grunow in Van Heurck, 1881	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg, 1832	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Synedra</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Striatella unipunctata</i> (Lyngbye) Agardh, 1830	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Navicula wawrikae</i> Hustedt, 1961	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

## Continuación de Anexo 1.

Grupo	Especie	253	255	256	258	259	261	262	263	264	265	266	267	268
	<i>Haslea</i> sp. 1	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Haslea</i> sp. 2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
	<i>Stauroneis membranacea</i> (P.T. Cleve) Hustedt, 1959	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Trachinella aspera</i> (Ehrenberg) Cleve, 1894	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Pleurosigma delicatulum</i> W. Smith, 1853	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Pleurosigma</i> sp. 2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Pleurosigma</i> sp. 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Pleurosigma</i> sp. 4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Amphora</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Pseudonitzschia pungens</i> (Grunow ex Cleve) Hasle, 1993	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Pseudonitzschia</i> sp.1	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Nitzschia</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0
	<i>Spermatogonia</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
<b>Dinoflagelados</b>														
	<i>Pyrocystis fusiformis</i> (Wyville Thomson, 1876 ex Haeckel, 1890) Blackman, 1902	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Pyrocystis robusta</i> Kofoid, 1907	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Prorocentrum compressum</i> (Bailey, 1850) Abé ex Dodge, 1975	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Continuación de Anexo 1.

Grupo	Especie	253	255	256	258	259	261	262	263	264	265	266	267	268
	<i>Prorocentrum gracile</i> Schütt, 1895	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Prorocentrum</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Amphisolenia bidentata</i> Schröder, 1900	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Amphisolenia bifurcata</i> Murray et Whiting, 1899	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Amphisolenia</i> sp. 3	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Amphisolenia</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Amphisolenia</i> sp. 2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Dinophysis</i> sp. 3	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0
	<i>Dinophysis caudata</i> Saville-Kent, 1881	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Dinophysis cuneus</i> Schütt, 1895	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Dinophysis doryphora</i> (Stein) Abé vel Balech, 1967	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Dinophysis hastata</i> Stein, 1883	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Dinophysis</i> sp. 4	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Dinophysis</i> sp. 5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Dinophysis</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Dinophysis</i> sp. 2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Ornithocercus magnificus</i> Stein, 1883	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0
	<i>Ornithocercus quadratus</i> Schütt, 1900	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Continuación de Anexo 1.

Grupo	Especie	253	255	256	258	259	261	262	263	264	265	266	267	268
	<i>Ornithocercus stenii</i> Schütt, 1900	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0
	<i>Ornithocercus thumi</i> (Schmidt) Kofoid and Skogsberg, 1928	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Histioneis</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Histioneis</i> sp. 2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Ceratium</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Ceratium azoricum</i> Cleve, 1900	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Ceratium belone</i> Cleve, 1900	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Ceratium candélabrum</i> (Ehrenberg, 1860) Stein, 1883	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
	<i>Ceratium</i> sp. 2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Ceratium contortum</i> (Gourret) Cleve, 1900	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
	<i>Ceratium dens</i> Ostenfeld et Schmidt, 1901	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
	<i>Ceratium extensum</i> (Gourret) Cleve, 1900	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Ceratium furca</i> (Ehrenberg) Claparede and Lachmann, 1859	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Ceratium fusus</i> (Ehrenberg) Dujardin, 1841	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0
	<i>Ceratium</i> sp. 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Ceratium horridum</i> (Cleve) Gran, 1902	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Ceratium horridum</i> molle	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Continuación de Anexo 1.

Grupo	Especie	253	255	256	258	259	261	262	263	264	265	266	267	268
	<i>Ceratium karstenti</i> Pavillard, 1907	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
	<i>Ceratium kofoidii</i> Jörgensen, 1911	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Ceratium limulus</i> (Gourret ex Pouchet) Gourret, 1883	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Ceratium longirostrum</i> Gourret, 1883	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
	<i>Ceratium macroceros</i> (Ehrenberg) Vanhöffen, 1897	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
	<i>Ceratium macroceros gallicum</i> (Kofoid) Sournia, 1966	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Ceratium massiliense</i> (Gourret) Jörgensen, 1911	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Ceratium massiliense armatum</i> (Karsten) Jörgensen 1911	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Ceratium pentagonum tenerum</i> Jörgensen, 1883	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0
	<i>Ceratium praelongum</i> (Lemmermann, 1900) Kofoid, 1907 ex Jörgensen, 1911	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Ceratium ranipes</i> Cleve, 1900	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Ceratium symmetricum</i> Pavillard, 1905	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Ceratium tenue</i> Ostenfeld et J. Schmidt, 1901	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Ceratium teres</i> Kofoid, 1907	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Ceratium trichoceros</i> (Ehrenberg) Kofoid, 1908	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0

Continuación de Anexo 1.

Grupo	Especie	253	255	256	258	259	261	262	263	264	265	266	267	268
	<i>Ceratium tripos</i> (Müller) Nitzsch, 1817	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0
	<i>Ceratium</i> sp. 4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Ceratium</i> sp. 5	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Ceratium</i> sp. 6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
	<i>Ceratium tripos tripodiodes</i> Jörgensen, 1920	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Ceratium vultur vultur</i> Cleve, 1900	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
	<i>Ceratium vultur japonicum</i> (Schroder) Wood, 1954	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
	<i>Cerathocorys horrida</i> Stein, 1883	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0
	<i>Goniodoma polyhedricum</i> (Pouchet, 1883) Jörgensen, 1899	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0
	<i>Pyrodinium bahamense</i> Plate, 1906	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Alexandrium</i> sp. 2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0
	<i>Alexandrium</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
	<i>Gonyaulax</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
	<i>Gonyaulax</i> sp. 2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
	<i>Gonyaulax</i> sp. 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Gonyaulax milneri</i> (Murray et Whitting, 1899) Kofoid, 1911	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
	<i>Gonyaulax polygramma</i> Stein, 1883	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0

Continuación de Anexo 1.

Grupo	Especie	253	255	256	258	259	261	262	263	264	265	266	267	268
	<i>Gonyaulax cf. scrippsae</i> Kofoid, 1911	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Gonyaulax</i> sp. 4	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Gonyaulax spinifera</i> (Claparède and Lachmann, 1859) Diesing, 1866	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Protoceratium</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Murrayella</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Schuetziella</i> sp. 1	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Diplopsalopsis bomba</i> (Stein, 1883) J. D. Dodge & S. Toriumi, 1993	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0
	<i>Diplopsalopsis</i> sp. 1	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0
	<i>Protoperidinium abei</i> (Paulsen, 1931) Balech, 1974	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Protoperidinium conicum</i> (Matzenauer) Balech, 1979	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0
	<i>Protoperidinium corniculatum</i> (Kofoid et Michener, 1911) F.J.R. Taylor et Balech in Balech, 1979	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
	<i>Protoperidinium curtipes</i> (Jørgensen) Balech, 1974	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Protoperidinium divergens-acutipes</i>	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Protoperidinium grande</i> (Kofoid, 1907) Balech, 1974	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
	<i>Protoperidinium hamatum</i> Balech, 1979	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0

Continuación de Anexo 1.

Grupo	Especie	253	255	256	258	259	261	262	263	264	265	266	267	268
	<i>Protoperidinium longipes</i> Balech, 1974	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Protoperidinium cf. minutum</i> (Kofoid, 1907) Loeblich III, 1970	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
	<i>Protoperidinium obtusum</i> (Karsten, 1906) Parke & Dodge, 1976	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Protoperidinium oceanicum</i> (VanHöffen, 1897) Balech, 1974	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Protoperidinium</i> sp. 2	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0
	<i>Protoperidinium quarnerense</i> (Schróder, 1900) Balech, 1974	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Protoperidinium pentagonum</i> (Gran, 1902) Balech, 1974	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Protoperidinium rectum</i> (Kofoid, 1907) Balech, 1974	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Protoperidinium simulum</i> (Paulsen, 1931) Balech, 1974	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Protoperidinium</i> sp. 8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
	<i>Protoperidinium</i> sp. 1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0
	<i>Protoperidinium</i> sp. 9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Protoperidinium</i> sp. 10	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Protoperidinium wiesneri</i> (Schiller, 1931) Balech, 1974	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Protoperidinium</i> sp. 3	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Protoperidinium</i> sp. 5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Protoperidinium</i> sp. 6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0

Continuación de Anexo 1.

Grupo	Especie	253	255	256	258	259	261	262	263	264	265	266	267	268
	<i>Protoperidinium</i> sp. 7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Protoperidinium</i> sp. 8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Blepharocysta splendornaris</i> (Ehrenberg, 1860) Ehrenberg, 1873	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0
	<i>Podolampas bipes</i> Stein, 1883	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0
	<i>Podolampas elegans</i> Schütt, 1895	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Podolampas palmipes</i> Stein, 1883	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
	<i>Podolampas reticulata</i> Kofoid, 1907	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
	<i>Podolampas spinifera</i> Okamura, 1912	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0
	<i>Heterodinium</i> sp. 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Pyrophacus horologicum</i> Stein, 1883	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Pyrophacus steinii</i> (Schiller) Wall and Dale, 1971	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Dinoflagelado f. 1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Dinoflagelado f. 2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0
	<i>Hermesinium adriaticum</i> Zacharias, 1906	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0
<b>Silicoflagelados</b>	<i>Dyctiochia fibula</i> Ehrenberg 1839	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Clorófitas</b>	<i>Clorófitas</i> sp. 1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

## DISTRIBUCIÓN DEL MESOZOOPLANCTON EN AGUAS OCEÁNICAS DEL MAR CARIBE COLOMBIANO DURANTE MAYO Y JUNIO DE 2008

*Johanna Medellín-Mora<sup>1</sup> y Oscar Martínez-Ramírez<sup>2</sup>*



1. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - Invemar, Programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos. Museo de Historia Natural Marina de Colombia, Cerro de Punta Betín, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: johanna\_medellin@invemar.org.co
2. Ecoreef Ltda., Departamento de Investigaciones, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: osmaraz@gmail.com

**Figura separador:** Algunos organismos característicos del mesozooplankton del Caribe colombiano. Larva de pez (*Selene setapinis*), hidromedusa, sifonóforo, anfípodo y larva de crustáceo decápodo (megalopa). Fotografías: Oscar Martínez-Ramírez.

## RESUMEN

Durante mayo y junio de 2008 se estudió la distribución espacial del mesozooplankton en 13 estaciones ubicadas en aguas oceánicas del mar Caribe colombiano. En cada una se realizaron arrastres verticales con una red cónica (0,58 m de diámetro de boca, 2,2 m de longitud y malla de 200  $\mu\text{m}$ , equipada con un sistema de apertura – cierre, colector y flujómetro). Se seleccionaron dos estratos teniendo en cuenta la profundidad de inicio de la termoclina: superficial (0 m hasta la termoclina), y profundo (termoclina hasta los 200 m). Los copépodos fueron el grupo más abundante y frecuente en los dos estratos, seguido por los apendicularios, huevos de peces y moluscos. La distribución espacial del mesozooplankton mostró relación con el patrón de corrientes superficiales y la circulación ciclónica, con mayores concentraciones en el área nororiental que coinciden con el evento de surgencia, y en el área suroccidental con las descargas continentales y el giro Panamá-Colombia. Se encontraron diferencias significativas de la densidad de zooplankton entre áreas geográficas y entre los estratos de profundidad, con las mayores concentraciones en el estrato superficial.

**Palabras clave:** mesozooplankton, composición, abundancia, distribución, Caribe colombiano.

## ABSTRACT

During May and June 2008, the spatial composition, abundance and distribution of the mesozooplankton was studied, at 13 stations in oceanic waters of the Colombian Caribbean Sea. In each of these, vertical tows were made with a conical net (0,58 m opening, 2,2 m of length, and mesh of 200  $\mu\text{m}$  equipped with an opening - close system, collector and flowmeter). Two strata were selected considering the depth of the thermocline: surface (0 m to thermocline) and depth (thermocline to

200 m). The copepods were the most abundant and frequent group in both strata, followed by appendicularians, fish eggs and planktonic mollusks. The spatial distribution was related to the pattern of currents and cyclonic circulation, with the higher concentrations found in the northeast and southwest, possibly related to the upwelling event, rivers discharges and counterclockwise Panama-Colombia Gyre. Statistically, there are significant differences in zooplankton density, between geographic areas and the studied strata, however the highest values were found in the surface layer.

**Key words:** mesozooplankton composition, abundance, distribution, Colombian Caribbean.

## INTRODUCCIÓN

El mesozooplankton, constituido por organismos con un tamaño entre 0,2 mm y 20 mm (Sieburth *et al.* 1978), incluye grupos holoplanctónicos que viven permanentemente en el plancton como los copépodos, apendicularios, eufausiáceos, quetognatos e hidromedusas, y meroplanctónicos que agrupan fases tempranas de peces, crustáceos, moluscos y equinodermos, los cuales al finalizar su fase larval se incorporan a sus respectivos hábitats bentónico, demersal o pelágico (Newell y Newell 1963, Wickstead 1965, Boltovskoy 1981, 1999, Lalli y Parsons, 1993). Su hábitat, el ecosistema pelágico, se encuentra influenciado por las corrientes, mareas y variaciones en las características oceanográficas y atmosféricas.

La principal importancia del zooplankton radica en que forma parte del segundo nivel de la trama trófica marina, con especies herbívoras, carnívoras y omnívoras, que a su vez son el alimento de peces pelágicos menores y de una gran cantidad de organismos que constituyen la dieta de los recursos pesqueros explotables (Longhurst y Pauly 1987, Boltovskoy 1999, Hall 1999, Fréon *et al.* 2005).

El estudio de la comunidad zooplanctónica provee información útil para comprender los mecanismos que controlan su agrupamiento y analizar su respuesta ante la dinámica del medio ambiente. Los estudios a niveles específicos permiten comprender la estructura y función de los ecosistemas, la productividad de los recursos marinos vivos, la transferencia de materia orgánica de la zona eufótica a aguas profundas y los procesos biogeoquímicos que controlan el ciclo del carbono (Bucklin *et al.* 2004), así como la detección de indicadores de calidad de agua y posibles invasiones que puedan afectar la diversidad local.

Sin embargo su elevada riqueza y abundancia, junto con la dificultad en la identificación debido a su pequeño tamaño, desconocimiento de la biología, ausencia de inventarios, tecnología y financiación, hacen que en la mayoría de los casos se estudien a nivel de grandes grupos taxonómicos que pueden generar información útil para comprender los mecanismos que controlan su agrupamiento permitiendo así analizar la respuesta ante la dinámica del medio ambiente.

En el Caribe colombiano se ha estudiado principalmente la fauna planctónica nerítica. Son pocos los trabajos que han abarcado toda el área costera desde la frontera con Venezuela hasta Panamá (López y Mesa 1983, Bernal 2000, Manjarrés *et al.* 2005). La mayoría de los estudios se han realizado frente a los departamentos de La Guajira (Escobar y Manjarrés 1988, Marino y Merchán 1993, Franco-Herrera y Londoño-Lara 2000), Magdalena (Lozano 1986, Campos y Plata 1990, Criales *et al.* 2002, Bernal y Zea 2000, Ramírez *et al.* 2005, Franco-Herrera *et al.* 2006, Ávila de Tabares *et al.* 2007), Bolívar (Franco *et al.* 1992, Rendón *et al.* 2003, Cañón *et al.* 2005), y en la zona insular de San Andrés y Providencia (Giraldo y Villalobos 1983, Martínez-Barragán *et al.* 2008). La región suroccidental está poco estudiada, así como las aguas oceánicas donde solo se cuenta con registros de algunas expediciones oceanográficas en aguas cercanas a Colombia (Samper 1970, Park 1970, Michele y Foyo 1976).

El presente estudio describe y analiza la distribución del mesozooplankton en aguas oceánicas del mar Caribe colombiano durante el periodo comprendido entre mayo y junio de 2008, teniendo en cuenta dos estratos de profundidad, en cada una de las 13 estaciones localizadas a lo largo del área de estudio.

## MÉTODOS

En 13 estaciones distribuidas en aguas oceánicas a lo largo del mar Caribe colombiano se establecieron dos estratos para realizar arrastres de zooplankton (Figura 1). Para diferenciar los estratos se determinó la profundidad de la termoclina a partir de los datos de temperatura tomados con una sonda multiparámetros Idronaut Ocean Seven 316 plus. Con estos datos en cada estación se realizó un perfil de temperatura en función de la presión (1 dbar equivale a 0,98 m) en el cual se diferenció la profundidad de inicio de la termoclina como un cambio brusco o punto de inflexión en la curva. Con base en lo anterior los estratos fueron seleccionados de la siguiente forma: Superficial: 0 m a termoclina, Profundo: termoclina a 200 m de profundidad (Anexo 1).

En total se efectuaron 26 arrastres verticales diurnos con una red cónica de 2,2 m de longitud, 0,58 m de



**Figura 1.** Ubicación de las estaciones para los arrastres de zooplankton durante mayo-junio de 2008.



**Figura 2.** Muestreo con red de zooplancton. a. red con el sistema de apertura-cierre y b. red estrangulada.

diámetro de boca y malla de 200  $\mu\text{m}$ , equipada con un sistema de apertura-cierre marca Sea Gear, un colector y un flujómetro previamente calibrado para la determinación del volumen de agua filtrado ( $\text{m}^3$ ) (Figura 2). Se determinó el ángulo de inclinación del cable con un clinómetro para establecer la profundidad real del arrastre (Smith y Richardson 1979). Los organismos retenidos en el colector fueron narcotizados con agua carbonatada en una relación 1:5 v/v con agua de mar filtrada (Franco-Herrera 2006), luego se fijaron con formol al 10 % neutralizado con tetraborato de sodio (2 g por 100 ml de formol al 37 %) y agua de mar filtrada y se almacenaron para su posterior observación e identificación.

En el laboratorio las muestras se dividieron con un separador Folsom en dos partes iguales (Boltovskoy 1981), una se destinó para la separación y conteo de organismos y la otra para la determinación de biomasa. La separación del zooplancton se realizó por grupos morfológicos sin diferenciar alguna categoría taxonómica específica (Tabla 1).

El conteo de grupos abundantes como huevos de peces, copépodos y apendicularios, se efectuó a partir de una subdivisión de la segunda porción de la muestra. Los grupos con menores abundancias como hidromedusas, poliquetos y estadios larvales de peces, moluscos, crustáceos decápodos y equinodermos fueron extraídos en su totalidad de la muestra original.

La observación se realizó por medio de una placa Bogorov a través de microscopio o estereoscopio. Los organismos fueron identificados con la ayuda de bibliografía especializada para cada grupo así: hidromedusas: Kramp (1961) y Domínguez (2002); sifonóforos: Pagès y Gili (1992); quetognatos: Alvarino (1963); copépodos: Campos y Suárez (1994), Boxshall y Halsey (2004); peces: Kendall *et al.* (1984) y Richards (2006); otros grupos: Newell y Newell (1963), Boltovskoy (1981, 1999), Young *et al.* (2002) y Conway *et al.* (2003). Los zoopláncteres separados fueron almacenados y preservados en formol al 4 % y se encuentran en proceso de incorporación a la colección del Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC) del Invemar.

Para la determinación de biomasa seca ( $\text{mg m}^{-3}$ ) inicialmente cada muestra se filtró con un tamiz de 60  $\mu\text{m}$  para eliminar la formalina. Luego se colocó en un filtro de fibra de vidrio Whatman GFA y se filtró con la ayuda de una bomba de vacío para extraer la humedad; posteriormente cada muestra se secó en estufa a 105  $^{\circ}\text{C}$  por tres horas, pasado este tiempo se introdujo en un desecador por 15 minutos y finalmente se registró su peso en una balanza analítica. Para la determinación del peso libre de cenizas las muestras secas se depositaron en crisoles y fueron carbonizadas en un horno a 500  $^{\circ}\text{C}$  durante tres horas, luego se pasó al desecador y se registró el peso nuevamente (Steedman 1976, Postel *et al.* 2000).

Para cada muestra se obtuvo la densidad dividiendo el número de individuos contados en el volumen de agua filtrada, y se expresó como  $\text{ind } 100 \text{ m}^{-3}$  (Postel *et al.* 2000, Goswami 2004). Los valores fueron categorizados como bajos, medios y altos y se representaron espacialmente mediante mapas del área de estudio.

Para establecer si existen diferencias estadísticamente significativas en la densidad de zooplancton entre zonas geográficas (nororiental, central y suroccidental) y estratos de profundidad (superficial y profundo), se llevó

a cabo la prueba multivariada, no paramétrica Anosim (análisis de similaridad) a priori a dos vías.

Para determinar los patrones de distribución de densidad de los grupos zooplanctónicos se efectuaron los análisis de clasificación y ordenación de las muestras. Estos se obtuvieron a partir de los datos transformados mediante raíz cuadrada, con el fin de minimizar la influencia de grupos muy abundantes. La similaridad entre muestras fue calculada con el índice de Bray – Curtis. Se realizó un análisis de clasificación jerárquico empleando la técnica de promedio aritmético no ponderado (UPGMA), representado en un dendrograma. La ordenación fue efectuada mediante un ordenamiento no métrico multidimensional (Ramírez 1999). Ambos análisis se hicieron empleando el programa PRIMER 5 (Clarke y Gorley 2001, Clarke y Warwick 1994).

Finalmente, la biomasa en peso seco y libre de cenizas se determinó a partir de las siguientes ecuaciones que aportan los valores de materia orgánica (MO) e inorgánica (MI) del zooplancton (Goswami 2004, Postel y Hagen 2000):

$$\text{Biomasa seca} = (\text{MO} + \text{MI}) = \frac{\text{peso mg (filtro + muestra)} - \text{peso mg (filtro)}}{\text{volumen de agua filtrada (m}^3\text{)}}$$

$$\text{Biomasa libre de cenizas} = (\text{MI}) = \frac{\text{peso mg (filtro + muestra)} - \text{peso mg incineración}}{\text{volumen de agua filtrada (m}^3\text{)}}$$

$$\text{Materia orgánica} = (\text{MO}) = \text{Biomasa seca (mgm}^3\text{)} - \text{Biomasa libre de cenizas (mgm}^3\text{)}$$

## RESULTADOS

### Composición

Durante el periodo de estudio se identificaron 18 grupos zooplanctónicos (Tabla 1). En el estrato superficial los copépodos fueron el grupo más abundante con un 74,92 %, seguidos por los apendicularios con 9,71 %, los huevos de peces con 3,75 % y los moluscos y quetognatos

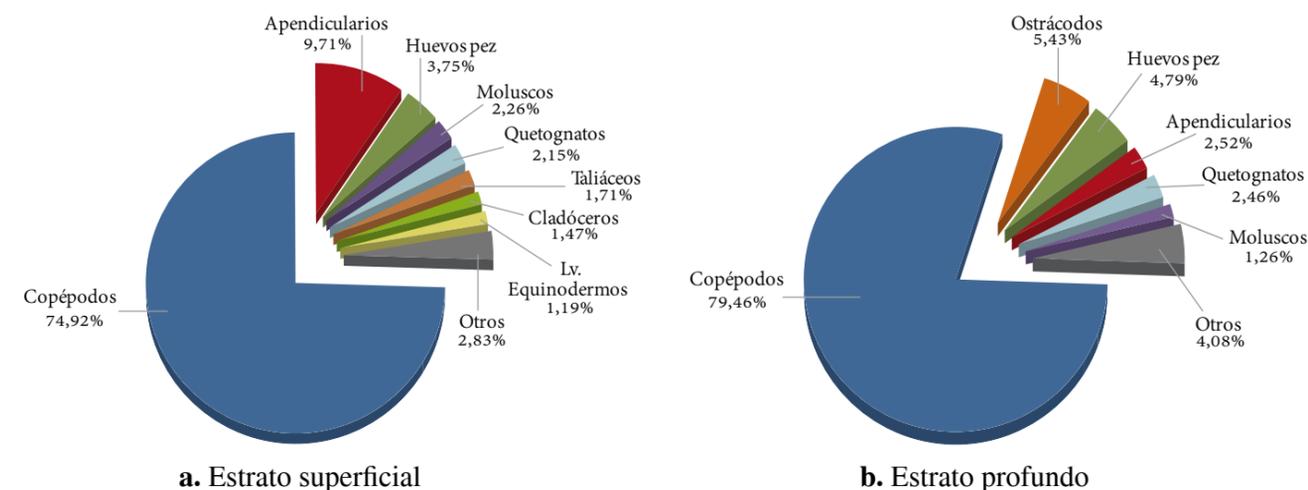
**Tabla 1.** Grupos zooplanctónicos considerados en este estudio indicando sus hábitos alimentarios.

Phylum	Grupo zooplanctónico	Tipo y hábitos alimentarios
Protozoa	Foraminíferos	Autótrofa, heterótrofa y saprozoica
Cnidaria	Sifonóforos	Gelatinoso carnívoro
	Medusas Medusas (Hidrozoa y Scyphozoa)	Gelatinoso carnívoro
Ctenophora	Ctenofora	Gelatinoso carnívoro
Annelida	Poliquetos	Gelatinoso carnívoro
Mollusca	Moluscos Pterópodos, heterópodos, larvas de bivalvos y gasterópodos, juveniles de cefalópodos	Gelatinoso herbívoro
Arthropoda	Calanóideos	Quitinoso herbívoro filtrador
	Copépodos Ciclopóideos, harpacticóideos, poecilostomatóideos	Quitinoso omnívoro
	Ostrácodos	Quitinoso omnívoro
	Cladóceros	Quitinoso herbívoro
	Decápodos Sergestidae, Luciferidae	Quitinoso omnívoro
	Larvas de decápodos	Quitinoso omnívoro
	Eufausiáceos	Quitinoso herbívoro
	Otros crustáceos Anfípodos, isópodos, estomatópodos	Quitinoso omnívoro
Chaetognata	Quetognatos	Gelatinoso carnívoro
Echinodermata	Larvas de equinodermos	Gelatinoso herbívoro filtrador
Chordata	Apendicularios	Gelatinoso herbívoro filtrador
	Taliáceos Doliólidos, salpas y pirosoomas	Gelatinoso herbívoro filtrador
	Huevos de peces	Endógena
	Larvas de peces	Vertebrados carnívoros

con 2,26 y 2,15 % respectivamente. Los taliáceos, cladóceros y larvas de equinodermos obtuvieron valores, en su orden, de 1,71, 1,47 y 1,19 %. Los grupos con valores por debajo del 1 % se categorizaron como “otros” y en estos se incluyó a sifonóforos, foraminíferos, decápodos, eufausiáceos, ostrácodos, otros crustáceos, poliquetos,

otros cnidarios, larvas de decápodos y larvas de peces, sumando un porcentaje de 2,83 (Figura 3a).

En el estrato profundo, al igual que en el superficial, los copépodos fueron los más abundantes con 79,46 %, seguidos por los ostrácodos (5,43 %), huevos de peces



**Figura 3.** Composición y abundancia relativa (%) de la comunidad mesozooplanktónica durante mayo y junio de 2008.

(4,79 %) y quetognatos (2,46 %). La categoría “otros” con abundancias relativas por grupo, menores al 1 % incluyó a sifonóforos, eufausiáceos, taliáceos, cladóceros, decápodos holoplanctónicos, foraminíferos, poliquetos, medusas, larvas de equinodermos, decápodos y peces, y alcanzaron en conjunto un 4,08 % (Figura 3b).

Debido a la complejidad del análisis taxonómico de las muestras, se hizo énfasis en la identificación de algunos grupos, incluyendo las larvas de peces y crustáceos decápodos. Los organismos mencionados junto a los demás identificados hasta un nivel específico entraron a formar parte de la colección biológica de zooplankton marino en el MHNMC.

En larvas de peces se encontraron representantes de 29 familias siendo Gobiidae, Myctophidae, Scorpaenidae, Clupeidae, Callionymidae y Mugilidae las más comunes, además, se identificó la especie *Selene setapinis* de la familia Carangidae. En crustáceos decápodos, se identificaron larvas zoeas de 24 familias, de las cuales Sergestidae, Galatheidae, Alpheidae y Leucosiidae fueron las más representativas.

Adicionalmente se identificaron algunas especies del phylum Cnidaria con representantes de la clase Hydrozoa: *Rophalonema vellatum*, *Cunina globosa*, *Aglaura*

*hemistoma*, *Liriope tetraphylla*, *Amphogona* sp. y *Aequorea macrodactyla*; Scyphozoa: *Nausithoe punctata*, y del phylum Ctenophora *Beroe ovata*. De Arthropoda se identificaron algunos organismos de la Subclase Copepoda pertenecientes a los ordenes Calanoidea: *Paracalanus sewelli* y *Rhincalanus cornutus*; Cyclopoida: *Oithona plumifera* y Poecilostomatoida: *Sapphirina nigromaculata*, *S. opalina*, *Copilia mirabilis*. Finalmente, de Chordata se encontraron algunas especies de la Clase Appendicularia: *Oikopleura longicauda* y *O. gracilis*; de la Clase Thaliacea *Doliolum nationalis* (Doliolida) y *Thalia democratica* (Salpida) (Anexo 2).

**Distribución espacial**

Las concentraciones de organismos zooplanctónicos fueron mayores en el estrato superficial en relación con el profundo, con una densidad promedio de 120848,47 ind 100 m<sup>-3</sup> (error estándar ± 22695,34) y de 19938,61 ind 100 m<sup>-3</sup> (± 5682,22), respectivamente. En ambos estratos las mayores densidades se presentaron en la zona nor-oriental frente al departamento de La Guajira con valores entre 202400,55 y 304303,19 ind 100 m<sup>-3</sup> (superficial) y entre 25033,36 y 152561,25 ind 100 m<sup>-3</sup> (profundo) (Figura 4). Para la zona suroccidental en la capa superficial se registraron valores entre 91476,46 y 145257,79 ind 100 m<sup>-3</sup> y en la profunda 14431,35 y 53018,50 ind 100 m<sup>-3</sup>,

mientras que en la zona central se presentaron valores entre 25793,30 y 79079,03 ind 100 m<sup>-3</sup> en el estrato superficial y 8962,98 y 28078,47 ind 100 m<sup>-3</sup> en el profundo (Figura 4) (Anexos 3 y 4).

**Holoplancton**

Durante el período evaluado el grupo más abundante fue el de los copépodos (Figura 6), ajustándose de ma-

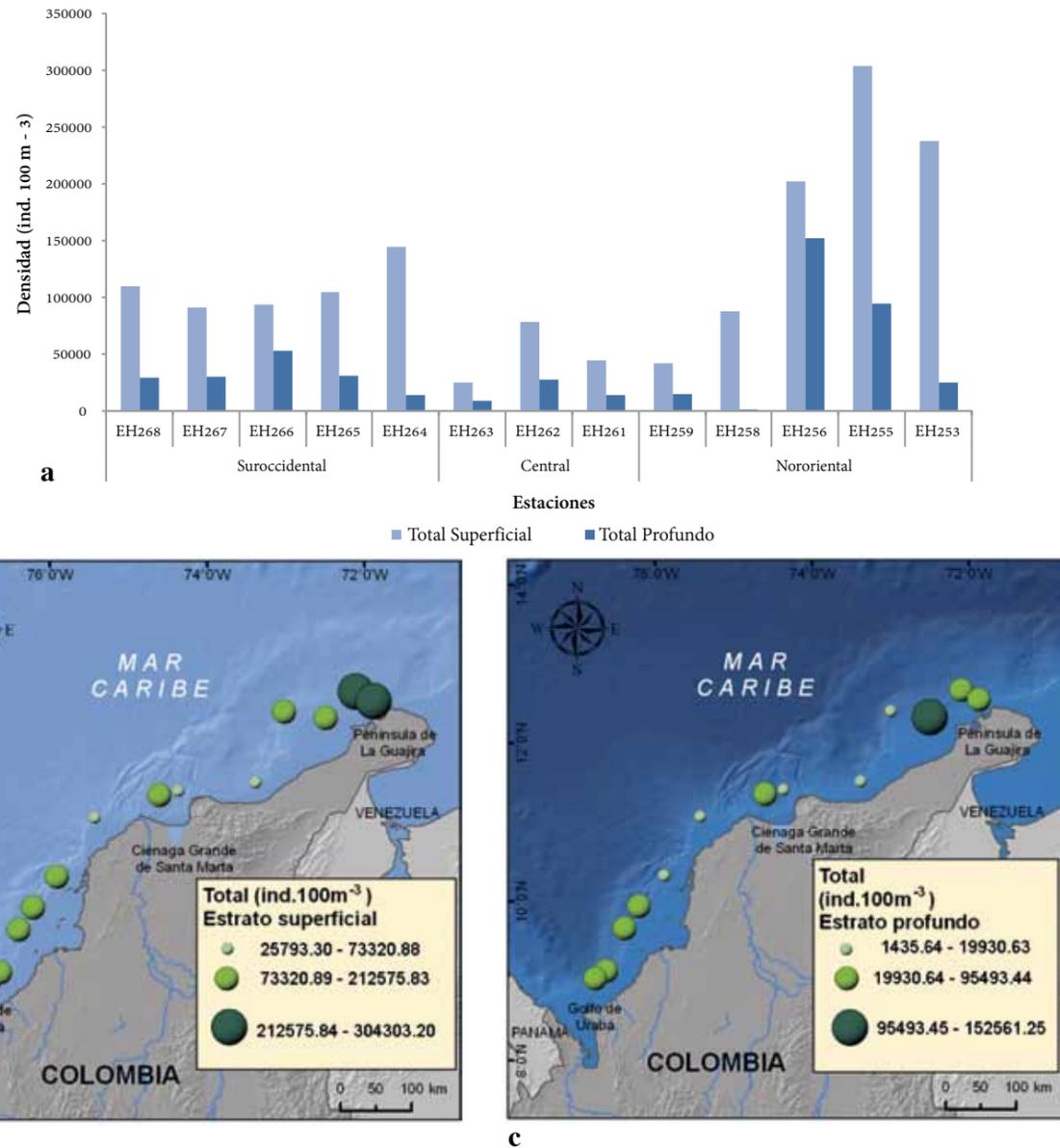
nera general al patrón de distribución descrito para el mesozooplankton. En el estrato superficial y profundo al suroccidente del Cabo de la Vela se presentaron las abundancias mayores (Figura 5 a y b).

Los apendicularios fueron frecuentes y abundantes en el estrato superficial siendo menor su representación en aguas profundas. En particular en ambos estratos las

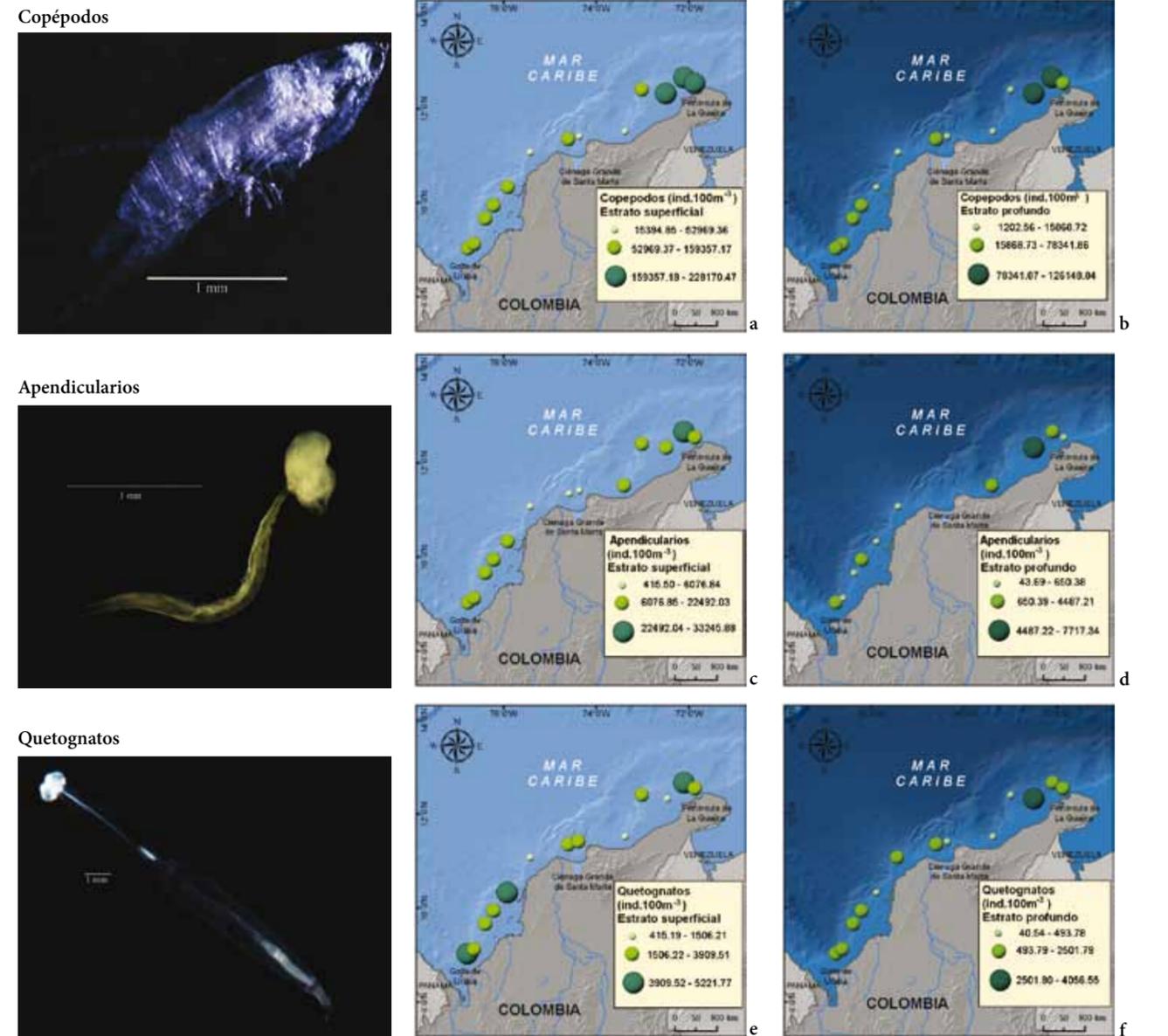
estaciones correspondientes al departamento del Magdalena presentaron los menores valores, en el profundo no se presentaron registros en la estación EH261 (Magdalena) (Figura 5 c y d).

El patrón de distribución de los quetognatos coincidió en líneas generales con el total del mesozooplankton, diferenciándose en las densidades medias que se pre-

sentaron en algunas de las estaciones de las zonas nororiental, central y suroccidental, mientras las bajas se presentaron al occidente del Cabo de la Vela y frente al departamento de Bolívar. En el estrato profundo solo la estación EH256 presentó una alta densidad de estos organismos, mientras que en las demás estaciones se observaron valores medios y bajos (Figura 5e y f).



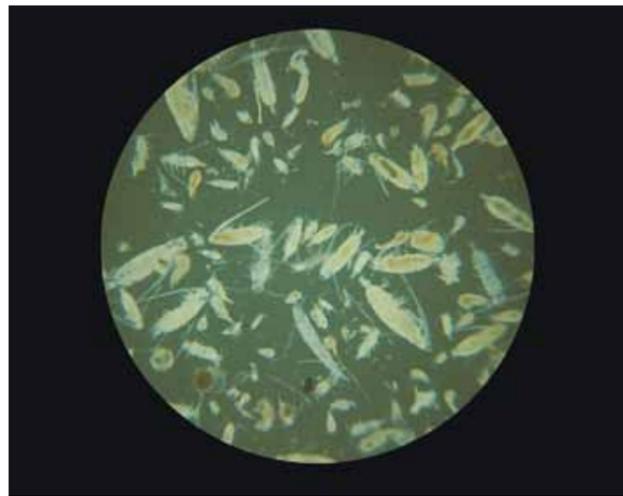
**Figura 4.** Densidad total (a.) y distribución del mesozooplankton en el estrato superficial (b.) y profundo (c.) durante mayo y junio de 2008.



**Figura 5.** Distribución espacial de los grupos holoplanctónicos más representativos en los estratos superficial y profundo en el Caribe colombiano durante mayo y junio de 2008. a. y b. Copépodos, c. y d. Apendicularios, e. y f. Quetognatos.

En el estrato superficial los ostrácodos presentaron mayores densidades en dos estaciones localizadas al norte y sur del Caribe colombiano, y menores al occidente del Cabo de la Vela y Magdalena; en el resto del área no hubo registros del grupo para este estrato (Figura 7a). Los ostrácodos fueron particularmente abundantes y frecuentes en el estrato profundo, con las mayores concentraciones al nororiente y al suroccidente, las densidades medias se encontraron frente a La Guajira (Bahía Portete y Riohacha), Magdalena (Ciénaga Grande de Santa Marta - CGSM) y Bolívar y Sucre; las estaciones restantes presentaron densidades bajas (Figura 7b).

En cuanto a los cladóceros sus abundancias fueron mayores en el estrato superficial frente a La Guajira (Bahía Portete), exhibiendo el mismo comportamiento en el estrato profundo. En las estaciones restantes, localizadas frente a este departamento y en la zona suroccidental, se presentaron valores medios. Las menores densidades se registraron frente a Manaure (La Guajira), Santa Marta y CGSM (Magdalena) y frente a los departamentos de Bolívar, Córdoba y Sucre (Figura 7c y d).



**Figura 6.** Muestra de zooplankton del Caribe colombiano, obsérvese la alta abundancia de grupos holoplanctónicos, principalmente copépodos.

Los taliáceos, al igual que el grupo anterior, presentaron concentraciones altas en los dos estratos de EH255 (alta Guajira). En general su abundancia fue mayor en el estrato superficial con densidades medias en la mayoría de las estaciones de la zona nororiental y suroccidental, los menores valores se obtuvieron en aguas oceánicas frente a la CGSM y el Golfo de Morrosquillo (Figura 7e y f).

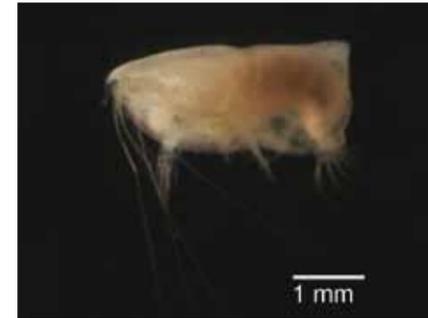
### Meroplancton

Los huevos de peces fueron el grupo más representativo del meroplancton. En el estrato superficial su distribución espacial mostró las mayores concentraciones frente a la alta Guajira, valores medios frente al departamento de La Guajira (Cabo de la Vela y Manaure) y Córdoba, mientras que frente a la región centro y suroccidente del Caribe colombiano las densidades registradas fueron bajas (Figura 8a). De igual forma en el estrato profundo las mayores densidades se presentaron frente a la alta Guajira y al suroccidente del Caribe colombiano, y las menores frente al departamento del Magdalena y en la baja Guajira (Figura 8b).

Las larvas de peces fueron poco abundantes, los mayores valores se obtuvieron en el estrato superficial, principalmente en la zona suroccidental del Caribe colombiano, así como en la zona nororiental (Figura 8c). En el estrato profundo los valores más altos se encontraron en La Guajira, para la zona central frente a la CGSM y Bolívar, y en la zona suroccidental frente al Golfo de Morrosquillo, Sucre y Antioquia (Figura 8d).

Los estadios larvales de equinodermos se encontraron mejor representados en el estrato superficial con las mayores densidades en la región suroccidental del Caribe colombiano, principalmente frente a Barú y el Golfo de Morrosquillo. La zona nororiental mostró densidades bajas (Figura 9a). En la capa profunda las mayores concentraciones se presentaron en la alta Guajira y frente a Barú (Bolívar) (Figura 9b). Los moluscos (Pterópodos, Heterópodos, larvas de bivalvos y gasterópodos), presentaron un patrón de distribución similar (Figura 7 g y h).

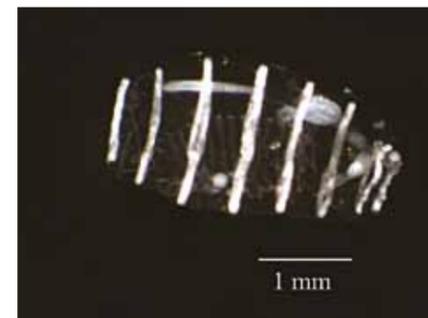
### Ostrácodos



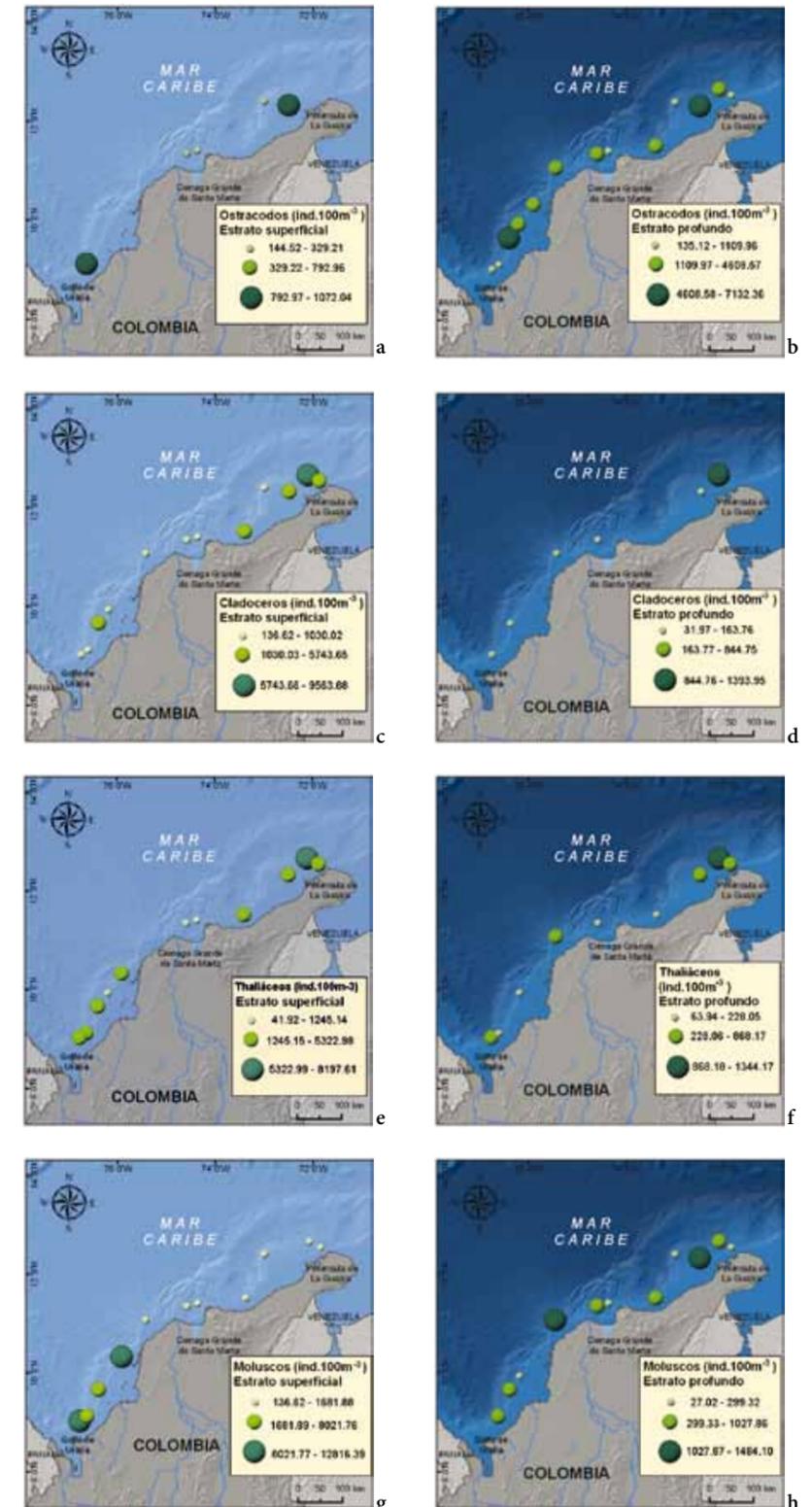
### Cladóceros



### Taliáceos

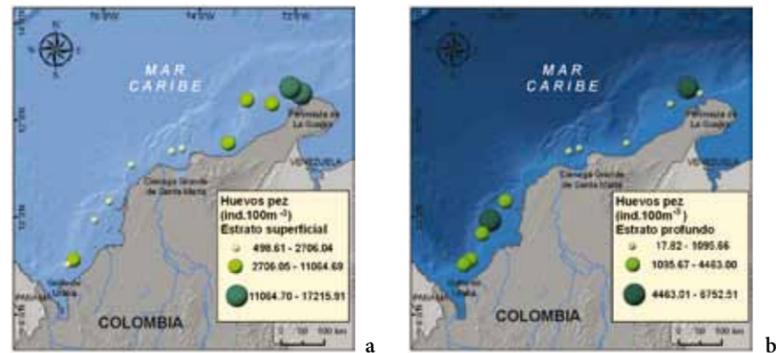
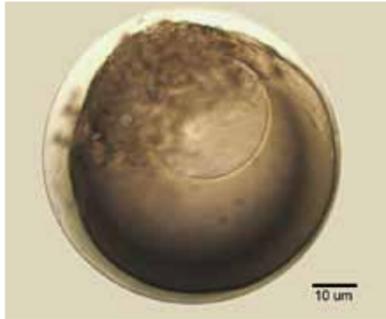


### Moluscos

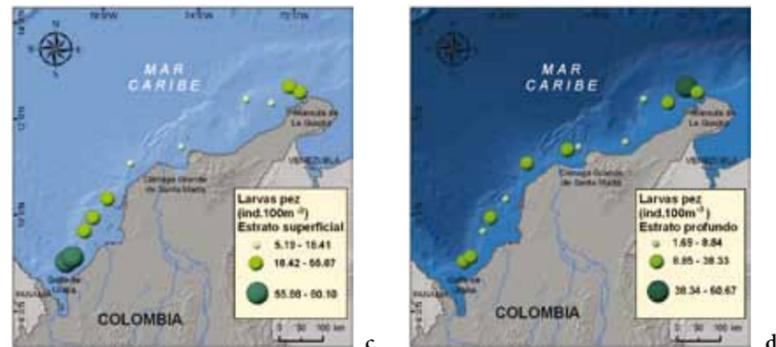


**Figura 7.** Distribución espacial de los grupos holoplanctónicos más representativos en los estratos superficial y profundo en el Caribe colombiano durante mayo y junio de 2008. a. y b. Ostrácodos, c. y d. Cladóceros, e. y f. Taliáceos, g. y h. Moluscos.

Huevos de peces

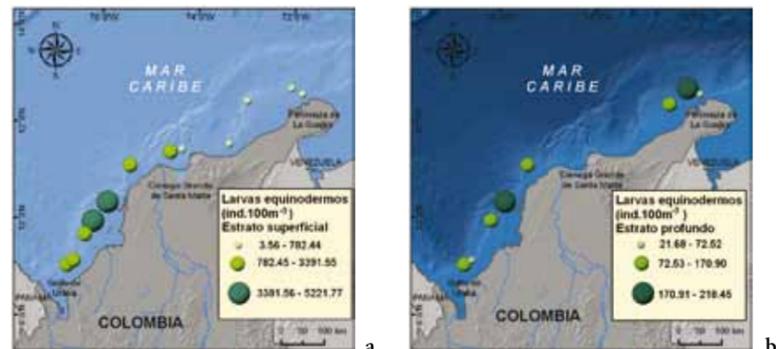
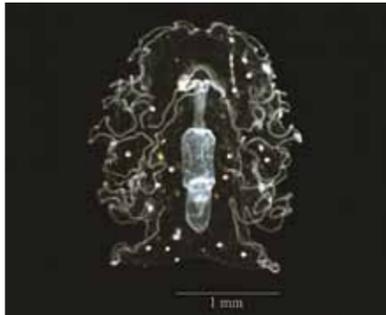


Larvas de peces

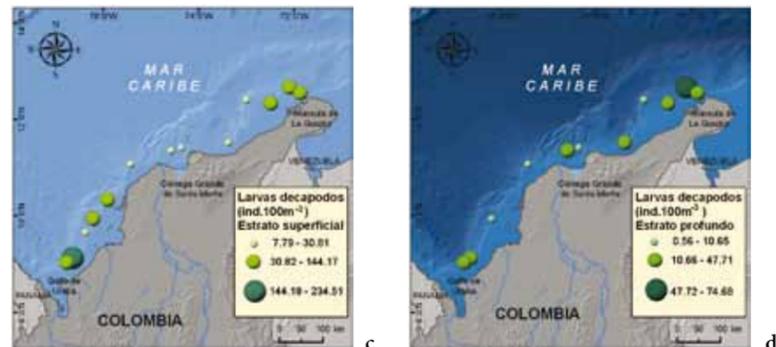
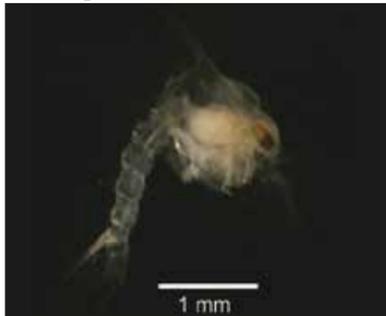


**Figura 8.** Abundancia y distribución del ictioplancton en los estratos superficial y profundo en el Caribe colombiano durante mayo y junio de 2008. a. y b. Huevos de peces, c. y d. Larvas de peces.

Larvas de equinodermos



Larvas de decápodos



**Figura 9.** Abundancia y distribución de grupos de meroplancton más representativos en los estratos superficial y profundo en el Caribe colombiano durante mayo y junio de 2008. a. y b. Larvas de equinodermos y c. y d. Larvas de decápodos.

De forma similar las larvas de decápodos presentaron mayor abundancia en el estrato superficial especialmente al suroccidente frente al departamento de Sucre, mientras que en las demás estaciones de esta zona y al nororiente frente a La Guajira se observaron densidades medias. Los menores valores superficiales se registraron en la baja Guajira y zona centro (Figura 9e). En el estrato profundo las mayores concentraciones se presentaron en la zona norte al frente de Bahía Portete, valores medios en el resto de estaciones distribuidas en La Guajira y Magdalena (CGSM) y bajos frente a Bolívar y Golfo de Morrosquillo. En este estrato no se presentaron larvas en la estación ubicada frente a Barú (Figura 9f).

Se encontraron diferencias significativas en la composición y densidad del mesozooplankton entre las áreas nororiental, central y suroccidental del Caribe colombiano (Anosim  $R=0,641$ ,  $p<0,001$ ), y entre los estratos de profundidad (Anosim  $R=0,32$ ,  $p<0,001$ ). Los análisis de clasificación y ordenación permitieron postular la formación de dos conglomerados de estaciones relacionados principalmente con los estratos de profundidad (A: superficial y B: profundo), y al interior de estos las muestras tendieron a relacionarse de acuerdo a su localización geográfica (nororiental, central y suroccidental) (Figura 10 a y b).

**Biomasa (mg m<sup>-3</sup>)**

**Estrato superficial**

El mayor valor de biomasa seca se registró en la zona suroccidental con 16,16 mg m<sup>-3</sup> (EH264) seguida por la nororiental con valores entre 12,24 y 14,79 (EH255, EH256). Las demás estaciones del suroccidente, EH268 y EH265, mostraron valores de 11,90 y 11,74 mg m<sup>-3</sup>, respectivamente. En la zona frente a la baja Guajira, Magdalena y Bolívar (EH259, EH261, EH262 y EH263) se presentaron los menores valores entre 2,73 y 3,58 mg m<sup>-3</sup> (Figura 11).

La materia inorgánica presentó un patrón similar, con mayores valores frente a la alta Guajira (11,39 - 13,24 mg m<sup>-3</sup>) y al suroccidente del área de estudio (5,89 - 10,20 mg m<sup>-3</sup>) y menores en la zona central (2,39 - 2,88 mg m<sup>-3</sup>) (Figura 11).

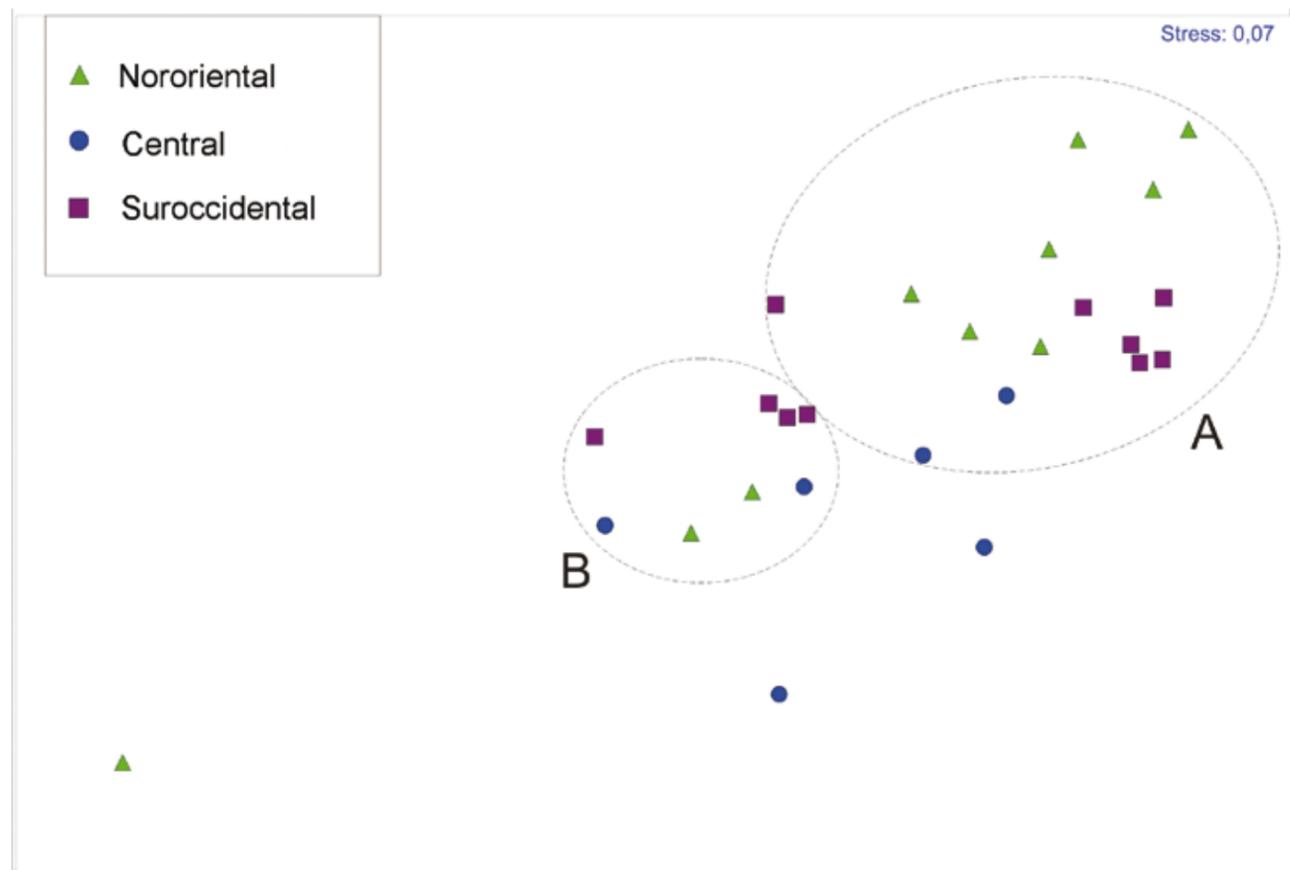
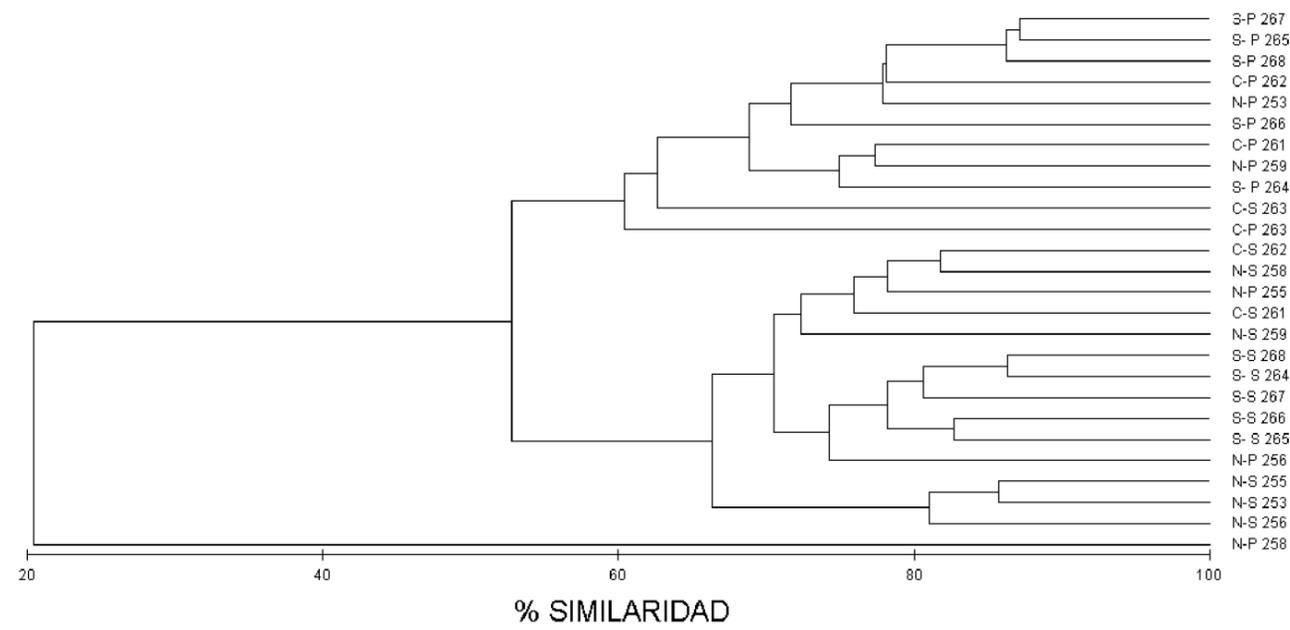
Particularmente la materia orgánica fue mayor en la zona suroccidental con valores entre 2,07 y 5,96 mg m<sup>-3</sup> principalmente en aguas oceánicas frente a Barú (Cartagena, EH264). A diferencia en la zona nororiental y central (baja Guajira y Magdalena) los valores estuvieron por debajo de 1,55 mg m<sup>-3</sup> (Figura 11).

**Estrato profundo**

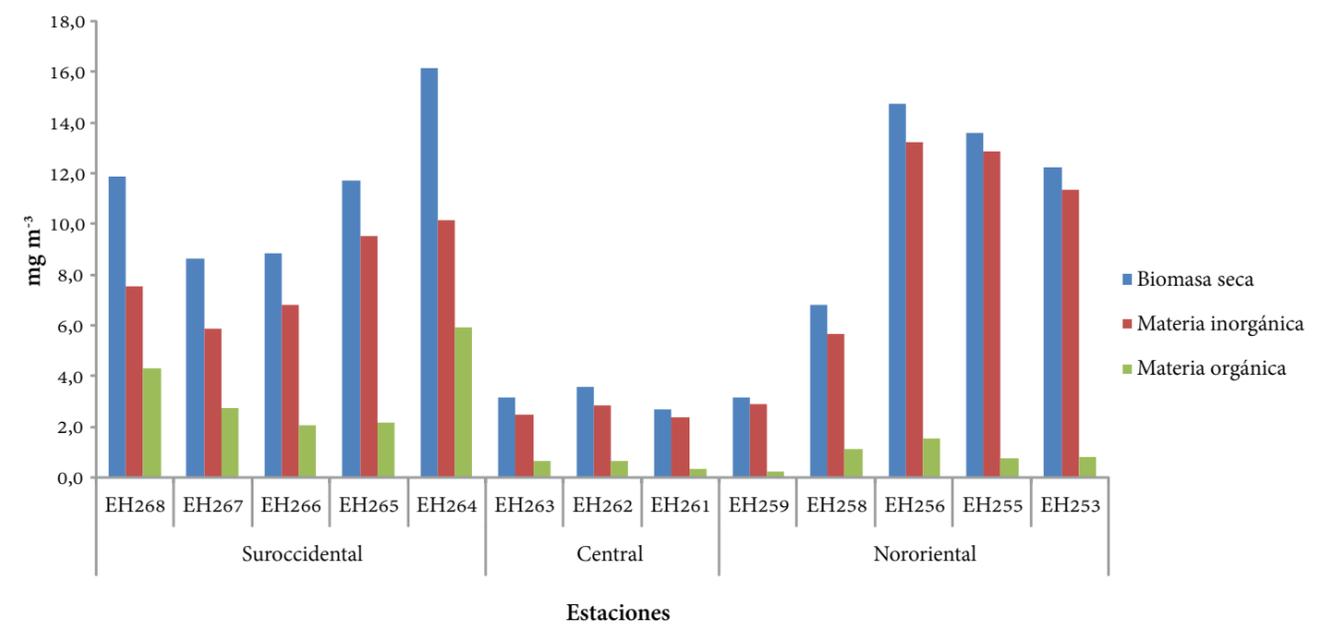
En el estrato profundo los mayores valores de biomasa seca se registraron en la zona nororiental frente al departamento de La Guajira con valores entre 5,23 y 10,57 mg m<sup>-3</sup> en las estaciones EH253 y EH255. En el resto del área se presentaron valores menores a 2,54 mg m<sup>-3</sup> (Figura 12).

Los valores de materia inorgánica fluctuaron entre 0,27 y 7,02 mg m<sup>-3</sup> (EH258 y EH255), los más altos se registraron en la zona norte del área de estudio (EH255, EH256 y EH253) con 7,02, 6,95 y 4,12 mg m<sup>-3</sup>. Las zonas central y suroccidental del Caribe colombiano presentaron valores menores a 1,82 mg m<sup>-3</sup> (Figura 12).

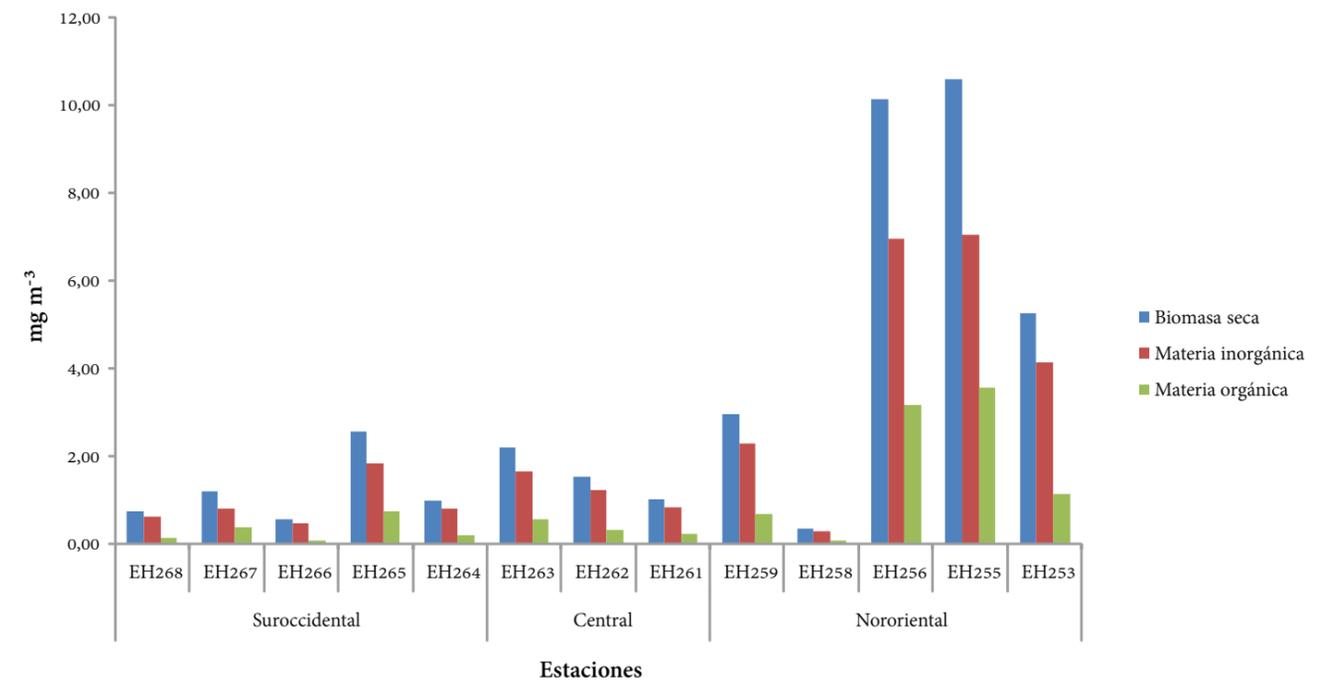
Con respecto a la materia orgánica el patrón fue diferente en comparación con el estrato superficial, los mayores registros se encontraron en la zona norte (EH255, EH256 y EH253) con valores de 3,55, 3,16 y 1,12 mg m<sup>-3</sup> (Figura 12). Los valores menores se presentaron en las estaciones EH258 (frente a la baja Guajira) y EH266 (zona suroccidental) con valores de 0,07 mg m<sup>-3</sup>. En la zona central y suroccidental los valores estuvieron por debajo de 0,30 mg m<sup>-3</sup>.



**Figura 10.** a. Dendrograma a partir del índice de Bray-Curtis (índice cofenético 0,85), zonas geográficas: N. nororiental, C. central y S. suroccidental; estratos: S. superficial y P. profundo. b. Ordenamiento no métrico multidimensional (estrés 0,07) A. Superficial y B. Profundo.



**Figura 11.** Valores de biomasa seca, biomasa libre de cenizas y materia orgánica ( $\text{mg m}^{-3}$ ) en el estrato superficial en aguas oceánicas en el mar Caribe colombiano durante mayo y junio de 2008.



**Figura 12.** Valores de biomasa seca, biomasa libre de cenizas y materia orgánica ( $\text{mg m}^{-3}$ ) en el estrato profundo en aguas oceánicas en el mar Caribe colombiano durante mayo y junio de 2008.

## DISCUSIÓN

### Composición y distribución espacial

#### Holoplancton

La composición observada corresponde con los registros realizados en áreas oceánicas del Caribe colombiano por Michele y Foyo (1976) y López y Mesa (1984) quienes, al igual que en el presente estudio, encontraron una mayor representación de organismos holoplanctónicos como copépodos, apendicularios, ostrácodos, quetognatos, sifonóforos y taliáceos.

Las altas densidades de estos organismos en las aguas oceánicas de la región nororiental del Caribe colombiano evidencian que esta área posee condiciones óptimas para su desarrollo como la oferta alimenticia originada por el enriquecimiento que produce la surgencia, la cual en el periodo evaluado (mayo – junio) puede estar en fase de debilitamiento, ya que éste es considerado como un periodo de transición entre la época seca y la lluviosa (Andrade 2001). En este estudio la surgencia pudo confirmarse con los valores superficiales de temperatura (25,6 °C) y salinidad (36,7) obtenidos en las estaciones localizadas en la alta Guajira y descritos en el capítulo de oceanografía, siendo valores similares a los reportados por Manjarres *et al.* (1998) y Bernal (2000), y que según Urbano (1993) están asociados con la Masa de Agua Subsuperficial Suptropical.

Apoyando lo anterior Corpes (1992) afirman que en el ambiente pelágico la acción fertilizante producida por el afloramiento es más evidente en aguas mar afuera, donde la producción fitoplanctónica es mayor formando un frente de productividad aumentada a unos 100 - 150 km de la costa. De igual forma Andrade-Amaya y Barton (2005) y Pétus *et al.* (2007), a partir de imágenes satelitales, han encontrado indicios de la influencia de la surgencia de la Guajira en aguas oceánicas.

Específicamente las densidades de los urocordados (apendicularios, doliólidos y salpas), caracterizados por ser herbívoros filtradores, fueron mayores en aguas su-

perficiales frente al departamento de La Guajira, zona influenciada por la surgencia con aporte de nutrientes que favorecen el desarrollo de cocolitofóridos, diatomeas y dinoflagelados que son el alimento predilecto de estos organismos. Según Sato *et al.* (2008) los apendicularios bajo condiciones favorables presentan una tasa de crecimiento alta, un tiempo generacional corto y son presas fáciles de larvas de peces, quetognatos y eufausiáceos.

El patrón de distribución vertical de los copépodos (herbívoros y omnívoros) y quetognatos (carnívoros) fue similar en los dos estratos de profundidad. Estos organismos se encuentran generalmente en la zona epipelágica (0 - 300 m), la cual coincide con la zona eufótica y disfótica, soportando gran diversidad y abundancia de organismos herbívoros, omnívoros y carnívoros (Lalli y Parsons 1993).

A nivel superficial se observó mayor cantidad de organismos herbívoros y de desarrollo temprano (calanoides). Alvaríño (1999), afirma que en el zooplancton las poblaciones de individuos jóvenes se distribuyen cerca de la superficie y los adultos ocupan niveles más profundos. Estos resultados además concuerdan con lo registrado en aguas oligotróficas del Atlántico suroccidental con una alta biodiversidad y productividad sobre los 150 m (Neumann-Leitão *et al.* 2008).

Los grupos que presentaron una distribución vertical con marcada estratificación fueron los ostrácodos y los eufausiáceos, los cuales fueron más abundantes bajo la termoclina, coincidiendo con lo reportado por Angel (1981) y Angel *et al.* (2007) quienes en latitudes altas y medias encontraron que la abundancia de ostrácodos incrementa rápidamente bajo la termoclina, con valores máximos entre los 200 y 400 m de profundidad. Longhurst y Pauly (1987) recalcan que en zonas tropicales las termoclinas son estables y permanentes, manteniendo una gran diversidad zooplanctónica, al igual que altas concentraciones de fitoplancton, nutrientes y materia orgánica común en esta parte de la columna de agua.

#### Meroplancton

En este estudio el grupo meroplanctónico más abundante fue el de los huevos de peces, mientras que las larvas de equinodermos, peces y crustáceos se presentaron en densidades menores. Es ampliamente conocido que dentro de los principales factores biológicos que influyen en la composición y abundancia del meroplancton se encuentran los hábitos reproductivos, la depredación, disponibilidad de alimento y las características propias de cada uno de los estadios de desarrollo (Bakun 1990, Boltovskoy 1999). Las larvas en las etapas más avanzadas adquieren cierta capacidad natatoria que les permite desplazarse a las zonas costeras para efectuar el asentamiento, de tal forma que es de esperarse que las densidades de larvas sean potencialmente menores a las de los huevos de peces y a los organismos holoplanctónicos en áreas oceánicas. Esto se corroboró al comparar los resultados registrados por López y Bernal (1990), Zapata (1995) y Medellín (2005) para larvas de peces, moluscos y crustáceos en zonas costeras respectivamente. Sin embargo, para larvas de equinodermos no existe información detallada en la zona de estudio.

Geográficamente las densidades de huevos, larvas de peces y crustáceos mostraron los mayores valores en la zona nororiental y suroccidental coincidiendo así con el área de cobertura del afloramiento de aguas profundas y el aporte de aguas continentales, así como la influencia de la contracorriente y el giro Panamá-Colombia (Corpes 1992, Manjarrés *et al.* 1998, Criales *et al.* 2002). En contraste, las larvas de equinodermos evidenciaron una distribución inversa en donde las mayores concentraciones se presentaron en la zona sur del Caribe colombiano y las densidades menores en la parte norte. Además de la influencia del patrón de corrientes, la abundancia sectorizada de estos grupos puede ser el reflejo de la presencia de organismos adultos y su época reproductora, acorde a las condiciones tróficas locales, que dependen de los picos de fertilización dados por los afloramientos y los aportes continentales.

En cuanto a la distribución batimétrica del meroplancton, se observó una marcada diferencia en la densidad de larvas de peces, crustáceos y equinodermos entre los estratos superficial y profundo. Las mayores concentraciones se presentaron arriba de la termoclina, la cual puede establecer una barrera física que congrega huevos y larvas por encima la misma; según Richards (2006) las especies de peces pelágicos (epi, meso y batipelágicas) y demersales liberan sus huevos directamente en el mar, estos tienen la capacidad de flotar, lo cual justifica su presencia en este estrato.

Por su parte, las larvas de peces a través de su desarrollo ontogenético permanecen en la capa superficial donde hay mayor disponibilidad de alimento. Mientras que, las larvas de invertebrados con menor capacidad natatoria se congregan en las zonas en donde se presentan cambios drásticos en la columna de agua como las termoclinas, haloclinas o picnoclinas en busca de áreas de refugio y alimentación (Metaxas 2001). Particularmente las densidades medias de larvas de decápodos en el estrato profundo de las estaciones situadas frente a la CGSM evidencian que en esta área se genera una considerable oferta alimenticia y retención larval (Criales *et al.* 2002).

En general la distribución y las concentraciones del mesozooplankton durante el periodo de estudio pueden ser explicadas por el patrón de corrientes. Según Villate *et al.* (2008 a y b) durante mayo-junio de 2008 en la zona nororiental del Caribe colombiano la corriente superficial predominó hacia el suroccidente y en aguas oceánicas frente al Cabo de la Vela se desvió hacia el norte (Anexo 5), lo que podría explicar la baja abundancia de zooplancton al occidente de La Guajira y frente a los departamentos del Magdalena y Bolívar (zona centro).

Igualmente, los autores describen en la zona suroccidental la presencia de la contracorriente Panamá-Colombia frente al litoral, con dirección oriente-nororiental y en las aguas oceánicas el giro Panamá – Colombia,

creando un movimiento de retorno de las aguas hacia el suroccidente (Anexo 5), lo cual puede estar relacionado con las altas concentraciones de zooplankton en esta área. De igual forma la corriente superficial del Caribe y la contracorriente Panamá-Colombia convergen en la zona central, explicando las menores abundancias de mesozooplankton (Anexo 5).

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas de la densidad de los grupos del mesozooplankton entre estratos de profundidad y entre áreas geográficas (nororiental, central y suroccidental), estos resultados son explicados por la tendencia de los organismos a agruparse en las zonas con mayor disponibilidad de alimento o en las zonas influenciadas por características oceanográficas particulares.

#### Biomasa

Concordando con los resultados de abundancia y distribución del mesozooplankton, la biomasa descrita como una importante fuente de alimento para niveles tróficos superiores, mostró las mayores concentraciones de peso seco y materia inorgánica en la zona nororiental y suroccidental del Caribe colombiano, aguas influenciadas por eventos de surgencia (Corredor 1979, Andrade y Barton 2005, Pétus *et al.* 2006) y descargas continentales (Corpes 1992) que permiten el transporte de masas de agua con nutrientes en disolución generando ambientes especiales para el desarrollo del plancton.

Particularmente la materia orgánica a nivel superficial presentó altas concentraciones en la zona suroccidental, en la cual se observó la contribución de sedimentos en suspensión por las descargas de los ríos Magdalena y Sinú más allá de la zona nerítica. Según Posada y Henao (2008), las descargas del río Magdalena en época seca y lluviosa producen una mancha turbia en dirección a la desembocadura y luego se desvía hacia el suroccidente. Así mismo, CORPES (1992) afirman que las descargas de los ríos pueden tener influencia más allá de la zona económica exclusiva (200 millas).

En la zona nororiental del Caribe colombiano, aunque los valores de biomasa son menores en el estrato profundo, los registros de biomasa seca, materia inorgánica y orgánica fueron altos, comprobando el evento de surgencia que permite el ingreso de nutrientes a las capas superficiales al romperse la estratificación de columna de agua. A diferencia de la zona suroccidental que se caracterizó por valores bajos, indicando que la influencia de las aguas dulces es a nivel superficial debido a su baja densidad.

Los resultados de biomasa seca obtenidos en este estudio (2,73 - 16,16 mg m<sup>-3</sup>) son menores en comparación con algunos trabajos realizados en la zona costera (Serrano y Larrahondo 1981, Marino y Merchán 1993, Vargas y Garzón 2003) los cuales registran rangos entre 0,01 - 80,04; 1,15 - 65,80 y 0,14 - 54,18, respectivamente. Por su parte Neumann-Leitão *et al.* (2008) en Brasil afirman que la biomasa es mayor en aguas neríticas debido a la mayor presencia de material suspendido de las descargas continentales y la alta representación de taxa grandes como larvas meroplanctónicas, hidromedusas y apendicularios entre otros. Así mismo, Cruz *et al.* (1999) en el archipiélago de San Blas - Panamá en los meses de mayo y junio reportaron valores de biomasa seca de 0,7, 0,5 y 0,2 mg m<sup>-3</sup> en aguas costeras, neríticas y oceánicas respectivamente, al igual concluyen que la mayor concentración se da en aguas costeras. Los valores de biomasa seca registrados en las aguas oceánicas de Panamá son bajos en comparación con el presente estudio que obtuvo valores entre 2,73 y 16,16 mg m<sup>-3</sup>.

Por otra parte, Cepeda (2007) para aguas costeras en la ensenada de Gaira (Magdalena) durante la época de transición en el estrato 0 - 50 m, reportó valores de biomasa seca, materia orgánica e inorgánica de 1,58, 0,59 y 0,98 mg m<sup>-3</sup> respectivamente. En contraste con una estación oceánica superficial del presente estudio (EH261), ubicada frente al departamento del Magdalena, en la cual se obtuvieron valores de biomasa seca, materia orgánica e inorgánica de 2,73, 0,35 y 2,39 mg

m<sup>-3</sup> indicando en este caso que en áreas oceánicas se pueden presentar valores mayores en comparación con aguas costeras. Reiterando lo anterior López y Mesa (1984) en su estudio a lo largo del Caribe colombiano encontraron que los mayores valores de biomasa seca se presentaron en aguas oceánicas, así como la mayor concentración de organismos.

En este sentido es importante tener en cuenta que las variaciones en la distribución del zooplankton, en términos de abundancia y biomasa están sujetas a factores físicos, químicos y biológicos que hacen que su distribución sea heterogénea ó a manera de parches (Cianelli *et al.* 2009). De igual forma influyen las metodologías empleadas que en conjunto generan apreciaciones contrarias con respecto al comportamiento general de la comunidad zooplanctónica.

Finalmente, durante el estudio se observaron dos grandes áreas a nivel oceánico que presentan las mayores concentraciones de organismos zooplanctónicos en términos de densidad y biomasa. La primera, localizada al nororiente del Caribe colombiano al frente del departamento de La Guajira y la segunda ubicada en la zona suroccidental. Particularmente esta última área mostró las mayores concentraciones de moluscos y estadios larvales de equinodermos y peces, grupos que dada su importancia merecen ser objeto de estudio tanto en aguas neríticas como oceánicas.

## CONCLUSIONES

En aguas del mar Caribe colombiano durante mayo y junio de 2008 se determinaron 18 grupos morfológicos y al igual que en la mayoría de estudios realizados en aguas oceánicas los organismos holoplanctónicos fueron los más abundantes y representan un 90 % de la abundancia en comparación con el meroplancton.

Las mayores concentraciones de biomasa y abundancia del zooplankton en la zona nororiental y suroccidental

del Caribe colombiano están relacionadas con la surgencia y las descargas continentales, así como con el patrón de corrientes superficiales y los eventos de circulación ciclónica.

Los ostrácodos en particular presentaron una estratificación marcada en aguas tropicales con mayores abundancias por debajo de la termoclina, la cual puede actuar como una barrera manteniéndolos en un estrato óptimo para su desarrollo.

Las larvas de peces, decápodos y equinodermos fueron más abundantes en el estrato superficial, donde se presenta mayor disponibilidad de alimento.

De acuerdo con la mayoría de los antecedentes encontrados los valores de biomasa son superiores en aguas costeras en comparación con los resultados obtenidos durante el presente estudio en aguas oceánicas.

## PERSPECTIVAS

Es necesario aumentar los esfuerzos de investigación con el propósito de obtener las bases del conocimiento de la comunidad zooplanctónica (*p.e.* inventario taxonómico y descripción de especies), información primordial para el entendimiento de las dinámicas poblacionales y manejo de los recursos marinos.

Teniendo en cuenta los altos costos que demandan estos estudios, es importante examinar y analizar las muestras recolectadas en el presente trabajo y en los proyectos realizados anteriormente (*p.e.* INPA - VECEP/UE), para profundizar en la taxonomía, biología y ecología de los organismos.

Así mismo, debido a la gran cantidad de grupos taxonómicos que integran el zooplankton, es necesario el entrenamiento de investigadores que permitan la identificación de grupos funcionales.

Se requiere disponibilidad de recursos para el diseño de muestreos extensivos, implementación de técnicas de muestreo, acceso a sistemas de información y asesoría en la interpretación oceanográfica y atmosférica, como herramientas para la obtener información precisa de dinámica poblacional de los organismos zooplanctónicos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores dan sus agradecimientos a la Agencia Nacional de Hidrocarburos y al Invemar por el apoyo financiero y logístico. Especialmente al laboratorio de Química del programa Calidad Ambiental Marina (CAM) - Julián Betancourt y Carlos Henry, la Coordinación de Servicios Científicos (CSC); el Laboratorio de Sistemas de Información (LABSI) – Daniel Rozo y Jiner Bolaños. A Paulo Tigreros y Guerly Ávila de Tabares por su oportuna evaluación, comentarios y correcciones. A Adolfo Sanjuan Muñoz MSc., Andrés Franco-Herrera Ph.D. y Fabián Cortes por su orientación. La colaboración de Camila Posada Peláez, José Manuel Gutierrez y los estudiantes de Biología Marina de la Universidad Jorge Tadeo Lozano Andrea Hormaza Niño y Leonardo Pabón Méndez quienes desarrollaron su trabajo de grado con muestras del proyecto y al grupo del Museo de Historia Natural Marina de Colombia del Invemar.

## REFERENCIAS

- Alvariño A. 1963. Quetognatos epiplanctónicos del mar de Cortés. *Revista de la sociedad mexicana de historia natural*, 24:98-203.
- Alvariño A. 1999. Hidromedusas: abundancia batimétrica diurna-nocturna y estacional en California y estudio de las especies en el Pacífico oriental y otras regiones. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 34(1):1-90.
- Andrade C. 2001. Las corrientes superficiales en la cuenca de Colombia observadas con boyas de deriva. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 25(96):321-335.
- Andrade-Amaya C.A. y E.D. Barton. 2005. The Guajira upwelling system. *Continental Shelf Research*, 25:1003-1022.
- Angel M.V. 1981. Ostracoda, 543-585, En: Boltovskoy D. (Ed.), *Atlas del zooplancton del Atlántico sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino*, Inidep, publicación especial, Mar del Plata, Argentina.
- Angel M.V., K. Blachowiak-Samolyk, I. Drapun y R. Castillo. 2007. Changes in the composition of planktonic ostracod population across a range of latitudes in the north-east Atlantic. *Progress in Oceanography*, 73:60-78.
- Bakun A. 1990. Globate climate change and intensification of coastal upwelling. *Science*, 247:198-201.
- Bernal A. 2000. Die struktur der zooplanktongemeinschaft im neritischen Bereich des Kolumbianischen karibischen meeres. Tesis de Doctorado, Justus-Liebig-Universität, Fachverlag Köhler, Gießen, Alemania, 142 p.
- Bernal A. y S. Zea. 2000. Estructura taxonómica y trófica de la comunidad de zooplancton bajo un régimen alternante entre descarga continental y afloramiento costero en Santa Marta, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 29:3-26.
- Boltovskoy D. 1981. Atlas del zooplancton del Atlántico sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. Inidep, publicación especial, Mar del Plata, Argentina, 936 p.
- Boltovskoy D. 1999. South Atlantic zooplankton. Backhuys Publisher, Leiden, Holanda, 1300 p.
- Boxshall G.A. y S.H. Halsey. 2004. An introduction to copepod diversity: Part I-II. The Ray Society, London, 966 p.
- Bucklin A., S. Nishida y S. Schiel. 2004. Census of marine zooplankton: A new global survey of Marine Biodiversity. *Global Change NewsLetter*, 60:8-10.
- Campos A. y E. Suárez. 1994. Copépodos pelágicos del Golfo de México y mar Caribe. *Biología y sistemática*. Centro de investigaciones de Quintana Roo, México, 357 p.
- Campos N. y J. Plata. 1990. Crustáceos epiplanctónicos de la región de Santa Marta, Caribe colombiano. Memorias VII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar, Comisión Colombiana de Oceanografía, 255-264.
- Cañón M., T. Vanegas, M. Gavilán y L. Morris. 2005. Dinámica planctónica, microbiológica y fisicoquímica en cuatro muelles de la Bahía de Cartagena y buques de tráfico internacional. *Boletín Científico CIOH*, 23:46-59.
- Cepeda A. 2007. Comunidad zooplanctónica en el sistema de surgencia de la ensenada de Gaira, Santa Marta, Caribe colombiano. Tesis Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, 82 p.
- Cianelli D., M. Uttieri, J.Rudi y E. Zambianchi. 2009. Zooplankton encounterer in patchy particle distribution. *Ecological Modeling*, 220:596-604.
- Clarke K.R. y R. M. Warwick. 1994. Change in marine communities. An approach to statistical analysis and interpretation. *Plymouth Marine Laboratory*, Reino Unido, 144 p.
- Clarke K. R. y R. N. Gorley. 2001. PRIMER v5: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth, Reino Unido, 91 p.
- Conway D., R. White, J. Hugues-Dit-Ciles, C. Gallienne y D. Robins. 2003. Guide to the coastal and surface zooplankton of the south western Indian Ocean. Occasional Publication of the Marine Biological Association of the United Kingdom, Plymouth, Reino Unido, n. 15, 356 p.
- Corpes. 1992. El Caribe colombiano realidad ambiental y desarrollo. Santa Marta, Colombia, 77-79 p.
- Corredor J.E. 1979. Phytoplankton response to low level nutrient enrichment through upwelling in the Colombian Caribbean basin. *Deep Sea Research*, 26A:731-741.
- Criales M., C. Yeung, F. Amaya, A. López, D. Jones y W. Richards. 2002. Larval supply of fishes, shrimps, and crabs into the Nursery Ground of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombian, Caribbean. *Caribbean Journal of Science*, 38(1-2):52-65.
- Croz L., D. Ross y J. Martínez. 1999. Cross-shelf distribution of nutrients, plankton, and fish larvae in the San Blas Archipiélago, Caribbean Panamá. *Revista de Biología Tropical*, 47(1-2):203-215.
- Domínguez H. 2002. Hidromedusas y sifonóforos (Cnidaria: Hydrozoa) de las aguas superficiales de la Bahía de Gaira, Caribe colombiano: Taxonomía, abundancia y relación con la oferta alimenticia. Tesis Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, 210 p.
- Escobar A. y G. Manjarrés. 1988. Consideraciones generales sobre el ictioplancton de la región de la Guajira, Colombia. Órgano Divulgativo de la facultad. Universidad Tecnológica del Magdalena, Santa Marta, 7(1-2):8-29.
- Franco-Herrera A. 2006. Variación estacional del fitoplancton y mesozooplankton e impacto de herbivoría de *Eucalanus subtenuis*, Giesbrecht, 1888 (Copepoda: Eucalanidae) en el Caribe colombiano. Tesis de Doctorado, Universidad de Concepción, Chile, 125 p.
- Franco-Herrera A. y L. Londoño-Lara. 2000. Referencia preliminar para el reporte del zooplancton superficial, sector "Plataforma Chuchupa b" departamento de La Guajira, Caribe colombiano. *Colombia Geotrópica*, 5(3): 23 - 32.
- Franco A., D. Avendaño, W. Bernal y M. Uribe. 1992. Contribución al conocimiento del plancton de Isla Tesoro, Parque Nacional Natural Corales del Rosario Caribe colombiano. Memorias VIII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar y Congreso Centroamericano y del Caribe de Ciencias del Mar, tomo II, 754-762.
- Franco-Herrera A., L. Castro y P. Tigreros. 2006. Plankton dynamics in the South-Central Caribbean Sea: Strong seasonal changes in a coastal tropical system. *Caribbean Journal of Science*, 42(1):24-38.
- Fréon P., P. Cury, L. Shannon y C. Roy. 2005. Sustainable exploitation of small pelagic fish stocks challenged by environmental and ecosystem changes: a review. *Bulletin of Marine Science*, 76(2):385-462.
- Giraldo R. y S. Villalobos. 1983. Anotaciones sobre la distribución de zooplancton superficial de San Andrés y Providencia. *Boletín Facultad de Biología Marina*, 1: 6.
- Goswami S. C. 2004. Zooplankton methodology collection and identification – a field manual. National institute of oceanography, Goa, 26 p.
- Hall S. 1999. The effects of fishing on marine ecosystems and communities. Blackwell Science, Oxford, 274 p.
- Kendall A.W. E. Ahlstrom y H. Moser. 1984. Early life history stages of fishes and their characters. 11-22 p En: Ontogeny and systematics of fishes based on an international symposium dedicated to the memory of E.H. Ahlstrom. Special publication of the American Society of Ichthyologists and Herpetologists, La Jolla, California, 1:760 p.
- Kramp P. 1961. Synopsis of the medusae of the world. Journal of the marine biological association of the United Kingdom. Cambridge University Press. New York, 469 p.
- Lalli C. y T. Parsons. 1993. Biological oceanography an introduction. Pergamon Press, London, 301 p.
- Larrahondo M. y R. Serrano. 1981. Composición planctónica de la bahía de Cartagena y algunas consideraciones ecológicas e hidrográficas. Tesis Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, 71 p.
- Longhurst A.R. y D. Pauly. 1987. Ecology of tropical oceans. Iclarm, Academic Press, San Diego, contribution n. 389, 407 p.
- López R. y A. Bernal. 1990. El zooplancton de las aguas costeras. 164-259. En: Díaz, J.M. (Ed.), *Estudio ecológico integrado de la zona costera de Santa Marta y Parque Nacional Natural Tayrona*, Informe final, Invemar, 439 p.
- López W.A. y M. Mesa. 1984. Distribución y abundancia del zooneuston en el Caribe colombiano, cruceo *Océano V*, áreas II y III. IV Seminario Nacional de Ciencias del Mar, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, Comisión Colombiana de Oceanografía, CE-BM-11, 15 p.
- Lozano F. 1991. Contribución al conocimiento de la comunidad zooplanctónica nerítica de la Bahía de Santa Marta, Colombia. *Trianea*, Inderena, 4:459-470.

- Marino S. y J. Merchán. 1993. Estimación cuantitativa y descripción cualitativa del zooplankton del noreste de La Guajira (Puerto Estrella - Punta Espada) y su relación con parámetros físico - químicos del agua. Tesis Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, 156 p.
- Martínez-Barragán M., A. Franco-Herrera, J. Medina-Calderon y A. Santos-Martínez. 2008. La comunidad de copépodos en las islas de Providencia y Santa Catalina (Caribe colombiano) durante el período lluvioso (octubre) 2005. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 38(1):85-103.
- Manjarrés L., J. Torres, G. Rodríguez, A. Vergara, E. Arteaga, J. Viaña, J. Arévalo, R. Galvis, J. Rodríguez, F. Amaya, D. García, J. Paramo, y G. León. 1998. Campaña de evaluación de peces pelágicos pequeños en el Caribe colombiano. Informe final, INPA-VECEP/UE/PELAG/9804, RA-018, 58 p.
- Manjarrés L., A. Vergara, J. Torres, G. Rodríguez, E. Arteaga, J. Viaña, J. Arévalo y R. Galvis. 2005. Evaluación de peces demersales e ictioplancton en el Mar Caribe de Colombia, incluyendo condiciones oceanográficas. Parte 1. Crucero INPA-VECEP/UE/DEMER/9507 (Julio de 1995). *Revista Intropica*, 2:51-86.
- Medellín J. 2005. Composición, abundancia y distribución de larvas zoea de crustáceos decápodos en la zona nororiental del mar Caribe colombiano. Tesis Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, 150 p.
- Metaxas A. 2001. Behaviour in flow: perspectives on the distribution and dispersion of meroplanktonic larvae in the water column. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58:86-98.
- Michele H. y M. Foyo. 1976. Studies of Caribbean zooplankton. Cooperative investigations of the Caribbean and adjacent regions - II. Symposium on progress in marine research in the Caribbean and adjacent regions. *FAO Fisheries Report*, 200:275-289.
- Neumann-Leitão S., E. Eskinazi-Sant'anna, L. De Oliveira-Gusmão, D. Nascimento-Vieira, M. Nogueira-Paranaguá y R. Schwamborn. 2008. Diversity and distribution of mesozooplankton in the tropical southwestern Atlantic. *Journal of Plankton Research*, 30(7):795-805.
- Newell G. y R. Newell. 1963. Marine plankton a practical guide. Hutchinson Educational, Gran Bretaña, 220 p.
- Pagès F. y J. Gili. 1992. Siphonophores (Cnidaria, Hydrozoa) of the Benguela current (southeastern Atlantic). *Scientia Marina*, 56(Supl. 1):65-112.
- Park T. 1970. Calanoid copepods from the Caribbean Sea and Gulf of Mexico. 2. New species and new records from plankton samples. *Bulletin of Marine Science*, 20(2):472-546.
- Pétus C., C. Garcia-Valencia., Y.F. Thomas y M. Cesaracio. 2007. Etude de la variabilite saisonniere et interannuelle de la resurgence de la Guajira (Colombie) par analyse de données satellitaires Ami-Wind, Seawinds et AVHRR. *Teledetection*, 7(1-4).
- Posada B.O. y P.W. Henao. 2008. Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano. Invenmar Serie Publicaciones Especiales No. 13, Santa Marta. 200 p.
- Postel L. y W. Hagen. 2000. Biomass and abundance, 86-195. En: Harris R., P. Wiebe, J. Lenz, H. Skjoldal y M. Huntley (Eds.), ICES Zooplankton methodology manual, Academic Press, 683 p.
- Ramírez A. 1999. Ecología aplicada. Diseño y análisis estadístico. Colección Estudios de Ecología, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 325 p.
- Ramírez J., A. Franco-Herrera, D. Rincón y L. Castro. 2005. Tasa de producción de fecas y coprofagia en *Eucalanus suebtenius* (Copepoda: Calanoidea), bajo condiciones controladas de laboratorio. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 34:193-209.
- Rendón R., T. Vanegas y P. Tigreros. 2003. Contaminación de la Bahía de Cartagena por aguas de lastre de los buques. *Boletín Científico CIOH*, 91-100.
- Richards W. 2006. Early stages of Atlantic fishes: An identification guide for the western central north Atlantic. Taylor & Francis Group, Boca Raton, 1335 p.
- Sieburth J., V. Smetacek y J. Lenz. 1978. Pelagic ecosystem structure: hetero-trophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnology and Oceanography*, 23:1256-1263.
- Smith P. y S. Richardson. 1979. Técnicas modelo para prospecciones de huevos y larvas de peces pelágicos. FAO, Documento Técnico de Pesca, 175:1-107.
- Steedman H. 1976. (Ed.). Zooplankton fixation and preservation. Unesco, Paris, 350 p.
- Urbano J.E. 1993. Masas de agua del Caribe colombiano. *Boletín Científico CIOH*, 14:3-30.
- Vargas Y. y T. Garzón. 2003. Descripción, abundancia y distribución de la comunidad ictioplanctónica en el humedal - Laguna Navío Quebrado y la zona marina costera adyacente, corregimiento de Camarones, Guajira, Caribe colombiano (mayo-noviembre de 2000). Tesis Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, 241 p.
- Villate D., J. Peñaranda, C. Pinzón, H. Calderón, A. Muñoz y H. Ospina. 2008a. Boletín Meteorológico Mensual Colombiano: Mayo 2008. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas CIOH., 23 p., [http://www.cioh.org.co/index.php?option=com\\_content&task=view&id=61&Itemid=185,9/10/2008](http://www.cioh.org.co/index.php?option=com_content&task=view&id=61&Itemid=185,9/10/2008)
- Villate D., S. Latandret, J. Peñaranda, C. Pinzón, H. Calderón y H. Ospina. 2008b. Boletín Meteorológico Mensual Colombiano: Junio 2008. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, 23 p., [http://www.cioh.org.co/index.php?option=com\\_content&task=view&id=61&Itemid=185,9/10/2008](http://www.cioh.org.co/index.php?option=com_content&task=view&id=61&Itemid=185,9/10/2008)
- Wickstead J. 1965. An introduction to the study of tropical plankton. Hutchinson Technical Cooperation and Marine Biological Association, Plymouth. 160 p.
- Zapata J. 1995. Identificación y distribución espacio-temporal de las larvas planctónicas de moluscos en la región de Santa Marta Caribe colombiano. Tesis Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, 221 p.

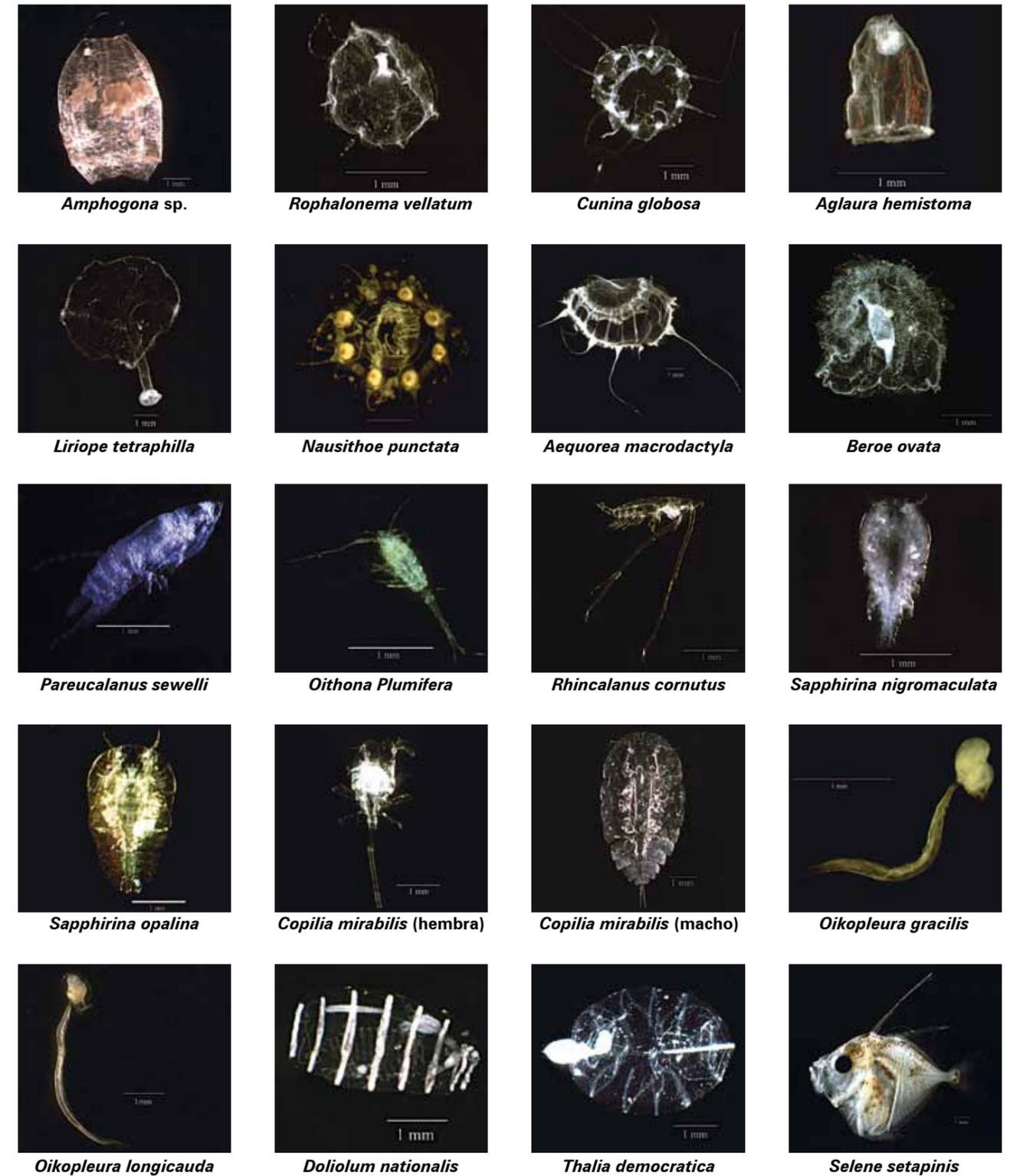
## ANEXOS

Anexo 1. Datos de las estaciones de muestreo.

Long Grados	Lat Grados	Estación	Fecha	Hora Estación	Profundidad estación (m)	Profundidad inicio termoclina (m)
-71.8408028	12.5547694	EH 253	02/05/2008	11:22	287	39*
-72.0713194	12.6704556	EH 255	03/05/2008	11:22	722	38*
-72.4634417	12.3359444	EH 256	04/05/2008	10:36	274	42
-72.9899	12.4105944	EH 258	05/05/2008	10:05	815	47
-73.3709556	11.5202611	EH 259	06/05/2008	9:43	307	11
-74.3544056	11.4181278	EH 261	16/05/2008	10:05	674	48
-74.5781722	11.3570417	EH 262	17/05/2008	11:42	836	45
-75.4194806	11.0810889	EH 263	02/06/2008	9:58	545	20
-75.8815722	10.3308528	EH 264	03/06/2008	10:28	451	17
-76.1891944	9.94093611	EH 265	04/06/2008	10:37	464	23
-76.3675917	9.65834167	EH 266	05/06/2008	9:07	397	24
-76.6002139	9.11967222	EH 267	06/06/2008	9:43	364	14
-76.7402222	9.02777222	EH 268	07/06/2008	9:36	484	16

\*En estas estaciones no se observó una profundidad de inicio de termoclina definida, este valor fue asignado en el perfil de temperatura vs profundidad con el fin de seleccionar un estrato para los arrastres de zooplancton.

Anexo 2. Algunos representantes del mesozooplancton encontrados durante mayo y junio de 2008.



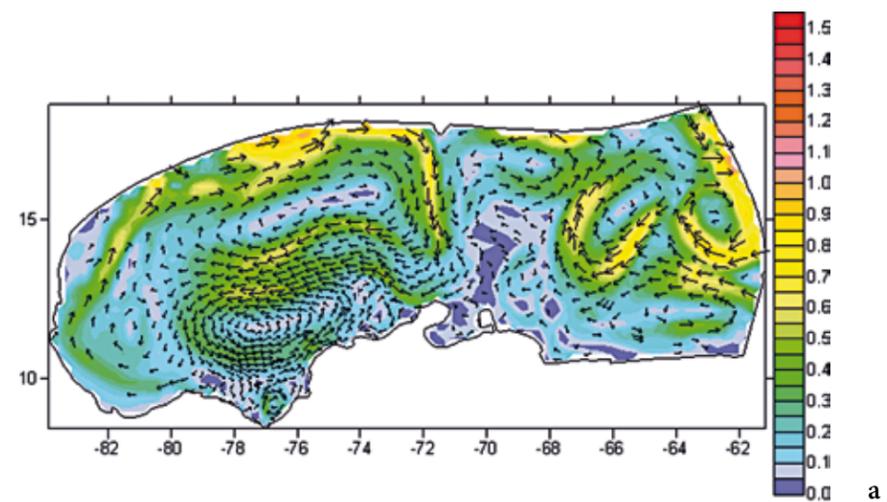
Anexo 3. Abundancia estandarizada (Ind 100 m<sup>-3</sup>) de los grupos zooplanctónicos en el estrato superficial durante mayo y junio de 2008.

Superficial ind. 100m <sup>-3</sup>	EH253	EH255	EH256	EH258	EH259	EH261	EH262	EH263	EH264	EH265	EH266	EH267	EH268	Total
Foraminíferos	337,57	1821,69	0,00	1011,66	350,11	2742,33	3142,26	603,72	870,30	0,00	0,00	1072,04	2050,62	14002,29
Sifonóforos	3375,67	1973,50	1729,94	1185,09	262,58	182,82	245,92	2113,02	435,15	894,38	506,69	1608,05	512,66	15025,46
Medusas	42,20	14,23	64,87	18,07	0,00	2,60	21,35	9,43	149,58	35,93	59,38	402,01	64,08	883,73
Poliquetos	73,84	35,58	12,97	45,16	10,94	25,97	51,23	47,17	95,19	179,67	35,63	167,51	336,43	1117,29
Moluscos	1012,70	910,85	0,00	1011,66	175,05	914,11	136,62	1509,30	10443,55	0,00	2280,10	4288,14	12816,39	35498,48
Copépodos	188024,71	228170,47	166074,03	65324,53	25908,12	36398,19	66943,77	15394,85	102694,89	82793,95	70683,10	58425,94	70233,83	1177070,38
Ostrácodos	0,00	0,00	830,37	144,52	0,00	249,30	273,24	0,00	0,00	0,00	0,00	1072,04	0,00	2569,47
Cladóceros	2025,40	9563,88	4982,22	289,05	1050,33	581,71	136,62	603,72	0,00	766,61	1520,07	536,02	1025,31	23080,93
Larvas Decápodos	63,29	64,04	51,90	13,55	10,94	7,79	12,81	18,87	54,39	47,91	23,75	234,51	96,12	699,88
Decápodos	1181,48	759,04	0,00	0,00	35,01	16,62	27,32	50,31	580,20	383,31	1368,06	321,61	0,00	4722,96
Eufausiáceos	56,26	379,52	415,19	173,43	0,00	315,78	163,94	0,00	290,10	1277,68	126,67	107,20	102,53	3408,31
Otros crustáceos	0,00	910,85	0,00	0,00	0,00	166,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	536,02	0,00	1613,07
Quetognatos	2700,53	5009,65	415,19	2023,33	1050,33	1745,12	3005,64	905,58	5221,77	2311,81	1520,07	3241,23	4613,90	33764,15
Larvas Equinodermos	337,57	3,56	0,00	578,09	175,05	166,20	1092,96	1509,30	5221,77	4677,52	2280,10	1155,79	1537,97	18735,89
Apendiculario	19916,44	33245,88	18268,14	8382,35	7702,41	415,50	2049,30	1811,16	15665,32	10738,54	11400,50	10184,34	12816,39	152596,28
Taliáceos	1687,83	8197,61	4567,04	0,00	1575,49	498,61	546,48	0,00	1740,59	41,92	2280,10	3232,86	2563,28	26931,81
Huevos peces	17215,91	13207,27	4982,22	8237,83	4026,26	498,61	1229,58	1207,44	1740,59	766,61	0,00	4824,16	1025,31	58961,78
Larvas peces	21,10	35,58	6,49	9,03	0,00	5,19	0,00	9,43	54,39	23,96	35,63	67,00	80,10	347,91
<b>Total</b>	<b>238072,51</b>	<b>304303,20</b>	<b>202400,56</b>	<b>88447,35</b>	<b>42332,64</b>	<b>44932,65</b>	<b>79079,03</b>	<b>25793,30</b>	<b>145257,79</b>	<b>104939,82</b>	<b>94119,83</b>	<b>91476,46</b>	<b>109874,93</b>	<b>1571030,07</b>

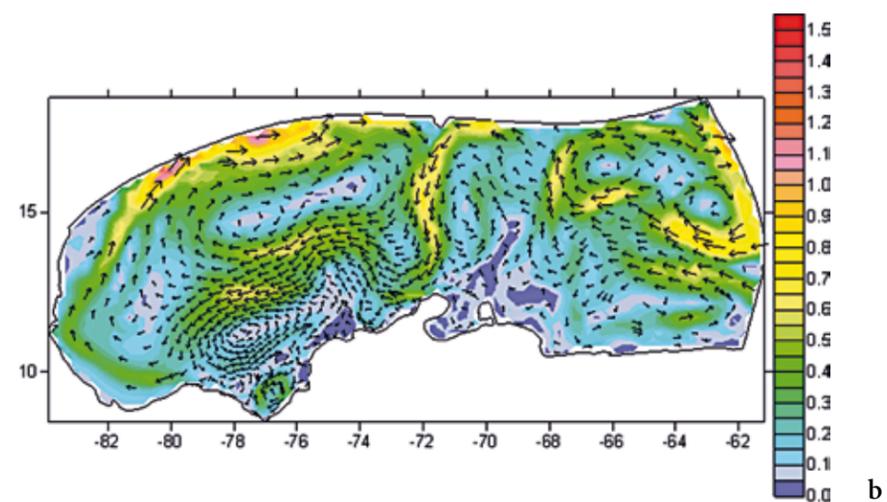
Anexo 4. Abundancia estandarizada (Ind 100 m<sup>-3</sup>) de los grupos zooplanctónicos en el estrato profundo durante mayo y junio de 2008.

Profundo ind. 100m <sup>-3</sup>	EH253	EH255	EH256	EH258	EH259	EH261	EH262	EH263	EH264	EH265	EH266	EH267	EH268	Total
Foraminíferos	0,00	298,70	494,70	0,00	0,00	53,46	223,80	336,64	0,00	49,65	0,00	86,03	142,35	1685,34
Sifonóforos	281,88	647,19	1484,10	0,00	303,16	196,00	351,69	374,04	131,07	297,90	139,85	229,43	142,35	4578,67
Medusas	103,00	17,11	12,37	0,00	2,37	2,23	5,00	46,76	21,84	21,72	4,37	10,75	15,57	263,08
Poliquetos	78,60	9,33	24,74	0,00	2,37	6,13	30,97	63,12	27,31	68,27	8,74	4,48	6,67	330,73
Moluscos	43,37	497,84	1484,10	27,02	341,05	213,82	767,33	1047,32	0,00	198,60	978,95	688,28	0,00	6287,69
Copépodos	21878,44	81297,23	126148,84	1202,56	11406,23	12526,38	22955,95	2730,51	11315,71	19165,20	40976,09	23143,35	22206,91	396953,39
Ostrácodos	845,65	1543,30	6727,94	135,12	1250,52	819,65	1342,83	2206,85	1179,63	2333,59	7132,36	659,60	925,29	27102,31
Cladóceros	0,00	1393,95	98,94	0,00	0,00	0,00	31,97	37,40	0,00	0,00	139,85	0,00	71,18	1773,29
Larvas decápodos	18,97	74,68	41,74	1,69	18,95	0,56	19,98	7,01	0,00	6,21	0,00	20,61	17,79	228,19
Decápodos	0,00	0,00	1088,34	0,00	416,84	17,82	159,86	37,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1720,26
Eufausiáceos	0,00	448,06	989,40	0,00	0,00	178,18	575,50	261,83	43,69	546,16	139,85	544,89	427,06	4154,61
Otros crustáceos	65,05	49,78	395,76	27,02	0,00	0,00	159,86	74,81	0,00	0,00	139,85	28,68	0,00	940,82
Quetognatos	910,70	995,68	4056,55	40,54	454,73	320,73	991,13	1009,91	305,83	645,46	839,10	602,24	1138,82	12311,43
Larvas de equinodermos	21,68	199,14	98,94	0,00	0,00	0,00	0,00	149,62	218,45	99,30	0,00	57,36	142,35	986,84
Apendiculario	455,35	846,33	7717,34	0,00	1023,15	0,00	0,00	149,62	43,69	943,36	279,70	258,10	854,11	12570,76
Taliáceos	238,52	1344,17	692,58	0,00	151,58	0,00	63,94	411,45	0,00	99,30	0,00	172,07	355,88	3529,48
Huevos peces	65,05	4779,26	989,40	0,00	227,37	17,82	383,66	0,00	1135,94	6752,51	2237,60	4330,42	2989,39	23908,42
Larvas peces	27,10	60,67	15,46	1,69	7,11	2,78	14,99	18,70	8,19	12,41	2,19	14,34	22,24	207,88
<b>Total</b>	<b>25471,15</b>	<b>95440,98</b>	<b>153096,62</b>	<b>2447,05</b>	<b>16043,86</b>	<b>15483,73</b>	<b>29207,65</b>	<b>9637,53</b>	<b>15002,59</b>	<b>31834,10</b>	<b>53623,02</b>	<b>31500,80</b>	<b>30099,89</b>	<b>499533,19</b>

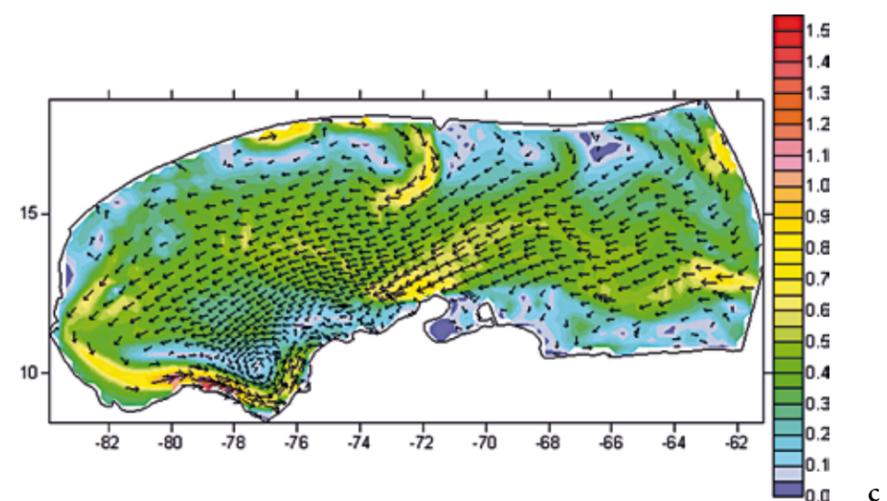
**Anexo 5.** Patrón de corrientes superficiales en el Caribe colombiano. a. 03 mayo/08, b. 16 mayo/08 y c. 3 junio/08 (tomado y modificado de Villate *et al.* 2008).



a



b



c

## CNIDARIA: CORALES ESCLERACTINIOS, ANTIPATARIOS, ANÉMONAS, ZOANTÍDEOS, OCTOCORALES E HIDROIDES

*Paola Flórez<sup>1</sup> y Nadiezhda Santodomingo<sup>2</sup>*

1. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - Invemar, Programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos, Museo de Historia Natural Marina de Colombia, Cerro de Punta Betín, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: [paola.florez@invemar.org.co](mailto:paola.florez@invemar.org.co)
2. National Museum of Natural History, Naturalis, Países Bajos, Correo electrónico: [nsantodomingo@gmail.com](mailto:nsantodomingo@gmail.com)

**Figura separador:** Colonia de *Thalamophyllia riisei*. Fotografía: Nadiezhda Santodomingo y Javier Reyes. Especie encontrada frente a Islas de San Bernardo.



## RESUMEN

Este capítulo recopila los avances en el conocimiento del Phylum Cnidaria (corales duros, anémonas, corales negros, zoantídeos, octocorales e hidroides) con base en la información generada durante los proyectos ejecutados por Invemar en el período 1998-2009, sobre la plataforma continental y el talud superior del Caribe colombiano, entre 20 y 900 m de profundidad. Asimismo se presenta una síntesis de los trabajos científicos más representativos realizados en el país para cada uno de los taxa y se abordan de manera general las características morfológicas del phylum. A partir de la información obtenida se describen los principales resultados, la riqueza de especies de los diferentes órdenes resaltando el descubrimiento de tres nuevas especies para la ciencia, la identificación de 44 primeros registros para el Caribe colombiano, así como el hallazgo de tres comunidades de corales de profundidad y el inventario de las principales especies formadoras de estructuras coralinas profundas en Colombia. Paralelamente, se presenta una visión general de los patrones de distribución geográfica y batimétrica de las especies de cnidarios, y finalmente se resaltan las principales falencias de información y las prioridades a futuro para el estudio de los cnidarios en Colombia.

**Palabras clave:** *Cnidaria, corales de aguas profundas, Caribe colombiano, biodiversidad.*

## ABSTRACT

This chapter compiles the advances in the knowledge of the Phylum Cnidaria (hard corals, sea anemones, black corals, zoanthids, octocorals, and hydroids), based on information produced by several Invemar projects during the period 1998-2009. These surveys were carried out on the continental shelf and upper slope of the Colombian Caribbean, between 20 and

900 m depth. Thus, the most representative scientific investigations are summarized, and the general morphological characteristics of the phylum are presented. Subsequently, we present the principal results obtained with our surveys, including the species richness by Order hierarchy, the description of three new species for science, 44 new records for the Colombian Caribbean, the discovery of three deep-sea coral communities, as well as a list of the main forming-habitat coral species in deep waters. In parallel, the bathymetrical and geographical range of distribution is presented for each cnidarians species. Finally, we drew attention to the main gaps of information in the current knowledge, and we made a list of investigation priorities for the study of cnidarians in the near future.

**Key words:** *Cnidaria, Colombian Caribbean, biodiversity, deep-water corals.*

## INTRODUCCIÓN

El phylum Cnidaria es uno de los grupos biológicos más reconocidos en el ámbito marino por agrupar a uno de los taxones más llamativos y de importancia para el hombre, los corales. Estos animales al igual que los demás miembros del Phylum, se caracterizan por presentar células especializadas denominadas cnidocitos (del Griego: *Knide*, urticante) gracias a las cuales se deriva su nombre Cnidaria. En general los cnidarios tienen una amplia distribución mundial, habitan en diversas latitudes, en aguas someras y profundas, y hacen parte fundamental de los ambientes marinos pelágicos, bentónicos y litorales, y aunque presentan algunos exponentes dulceacuícolas como las hidras, este grupo es principalmente marino, en el cual se estima que existen alrededor de 10000 especies vivientes (Cairns *et al.* 2009) y más de 20000 especies fósiles con registros desde el Precámbrico (4000 Ma) y un elevado número en el Cámbrico (542 Ma) (Clarkson 1998). En conjunto estos organismos poseen características



**Figura 1.** Ecosistema coralino en Isla Fuerte, Caribe colombiano. Fotografía Pedro Pérez, archivo SIMAC.

morfológicas y ecológicas variadas, por las cuales se encuentran clasificados en cinco clases (Daly *et al.* 2007): Anthozoa (octocorales y hexacorales), Cubozoa (cubomedusas), Hidrozoa (hidras y corales de fuego), Scyphozoa (medusas) y Staurozoa (estauromedusas). A su vez, la clase Anthozoa está conformada por dos subclases principales, Hexacorallia y Octocorallia; los hexacorales se caracterizan por presentar pólipos con simetría radial con septos en múltiplos de seis y están representados por los órdenes Actiniaria (anémonas), Corallimorpharia (coralimorfarios), Ceriantharia (anémonas tubo), Zoanthidea (zoantídeos), Anthipartaria (corales negros) y Scleractinia (corales duros); de otra parte, los octocorales poseen pólipos con ocho tentáculos y comprenden los órdenes Alcyonacea (corales blandos y gorgonias), Helioporacea (corales azules) y Pennatulacea (lápices de mar).

Dentro del phylum se destacan los corales del orden Scleractinia (corales pétreos o corales duros), pues constituyen el marco estructural de los arrecifes coralinos

en aguas someras. No obstante los octocorales, corales negros, hidroides, zoantídeos y anémonas, complementan su belleza paisajística y contribuyen al delicado equilibrio de estos hábitats (Figura 1). Los arrecifes de coral son considerados uno de los ecosistemas más productivos y diversos del planeta, ya que son el hogar de cientos de especies que buscan refugio y alimento, ya sea durante su etapa juvenil o a lo largo de toda su vida. Por otra parte, desde el punto de vista geológico, estos ecosistemas cumplen con un papel preponderante en la protección de las playas, al funcionar como rompeolas ante los procesos erosivos costeros, y adicionalmente gracias a su naturaleza calcárea y presentar un buen registro fósil, son excelentes indicadores estratigráficos y geocronológicos. Otro valor agregado de algunos cnidarios está relacionado con su capacidad de producir metabolitos secundarios, los cuales actualmente están siendo empleados en el desarrollo de nuevos fármacos y productos industriales, como en el caso de algunas especies de octocorales (Shi *et al.* 2002, Rodríguez *et al.* 2004, Wei *et al.* 2004). Por todo ello, para el hombre

constituyen una base de ingresos directa ya que son fuente de recreación y alimento, así como un invaluable archivo de información.

Hasta hace algunos años se consideraba que los ecosistemas coralinos se desarrollaban exclusivamente en ambientes someros de zonas tropicales, dado que la simbiosis que presentan con los dinoflagelados y microalgas conocidas como zooxantelas, restringe a los corales formadores de arrecife a la zona fótica, con aguas cálidas y pocos nutrientes. Sin embargo, el desarrollo de nuevas tecnologías para la exploración de lugares remotos ha permitido determinar que al igual que en aguas someras, los corales que carecen de dicha simbiosis (azooxantelados) también constituyen prósperos ecosistemas en aguas profundas, sin luz y en zonas templadas. Al igual que sus congéneres someros, los corales de profundidad conforman el hábitat para numerosas especies, convirtiéndolos en ecosistemas de alta diversidad y de un reconocido valor ecológico y económico.

Pese a la notable importancia de los arrecifes de coral, a los corales estructurantes de profundidad y en general de los cnidarios, sus comunidades han venido presentando un deterioro considerable en las últimas décadas. Este detrimento se ha visto incrementado directa e indirectamente por la acción del hombre sobre los recursos naturales, como las malas prácticas de pesca, la sobreexplotación, la contaminación por aguas servidas y residuos tóxicos, las altas tasas de sedimentación generadas por la deforestación en tierra, y otros indirectos pero no por ello menos agresivos, como los eventos globales de calentamiento y la acidificación de los océanos.

Durante el desarrollo de este capítulo se recopila y analiza el estado del conocimiento actual de corales escleractinios, antipatarios, anémonas, zoantídeos, octocorales e hidroides conocidos para el Caribe colombiano. La información presentada se basa en los resultados de los proyectos de investigación ejecutados por el grupo de investigadores del Museo de Historia Natural Marina

de Colombia (MHNMC) del Programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos durante la última década, incluyendo los proyectos Macrofauna I (1998-2000), II (2001-2003), Marcoral (2005-2006) y ANH I (2007-2009). Estos estudios han sido reveladores en cuanto al conocimiento de la fauna de profundidad en el Caribe y en especial han contribuido a un mejor conocimiento de la diversidad de cnidarios en el mar territorial colombiano.

## ANTECEDENTES

El estudio del Phylum Cnidaria en el Caribe Colombiano se inició al final de la década del 60 y tuvo un énfasis particular en los inventarios de especies de corales escleractinios presentes en los arrecifes coralinos someros, entre estos trabajos se destacan los de Geyer (1969), Pfaff (1969), Antonius (1972), Geister (1972), Erhardt (1976), Werding y Erhardt (1976), los cuales fueron seguidos por Prahly y Erhardt (1985) quienes integraron y complementaron esta información en su libro “Colombia corales y arrecifes coralinos”, el cual fue el primer documento en el país que recopiló el conocimiento de todas las áreas arrecifales en Colombia y sus especies, tanto en del Pacífico como en del Caribe colombiano. En el año 2000, Díaz *et al.* actualizaron la información y realizaron una descripción detallada de la composición y estructura de todas las áreas arrecifales someras en Colombia en su libro “Áreas coralinas de Colombia”. Paralelamente, Reyes (2000) presentó un listado taxonómico de las especies de corales escleractinios de Colombia, el cual ha sido actualizado e ilustrado recientemente por Reyes *et al.* (2010), en el catálogo de “Corales escleractinios de Colombia”, el cual también incluye una gran variedad de corales azooxantelados de aguas profundas. El estudio de los corales profundos ha sido menos intensivo, los primeros registros fueron realizados por Erhardt (1976), Werding y Erhardt (1977) y Prahly y Erhardt (1988); pero fue durante los proyectos Macrofauna I y II donde se realizaron avances significativos en el conocimiento de la fauna profunda, lo

cual quedó plasmado en los trabajos de Lattig y Cairns (2000), Reyes *et al.* (2005), Santodomingo *et al.* (2007), Reyes *et al.* (2009) y Reyes *et al.* (2010). A la fecha se considera que Scleractinia es el orden de cnidarios más estudiado en el país, estimándose que el inventario está casi completo (Reyes *et al.* 2010).

En general, los demás grupos del Phylum Cnidaria han sido menos estudiados, pero igualmente se ha generado información valiosa para su conocimiento. Los trabajos dedicados a los corales negros (orden Antipatharia) en el Caribe colombiano han sido escasos. Recientemente Sánchez y Ortiz (1992), Ortiz y Sánchez (1992), Sánchez *et al.* (1998) y Sánchez (1999) analizaron la distribución de las comunidades en las regiones centro y sur del Caribe continental colombiano, así como en la zona insular de Providencia. Por otra parte Opresko y Sánchez (1997) describieron una nueva especie, *Aphanipathes colombiana*, la cual fue encontrada a 60 m de profundidad. Estos estudios fueron complementados por Lattig (2000) y Reyes y Santodomingo (2002), quienes registraron algunas de las especies que habitan en aguas profundas colombianas.

Dentro de las investigaciones efectuadas en anémonas (ordenes Actiniaria y Corallimorpharia) se destacan las de Manjarrés (1977, 1978, 1979a, 1979b) quien hizo referencia a 14 especies de arrecifes coralinos y litorales rocosos. Posteriormente, Reyes (1991) en su estudio de la fauna asociada a raíces sumergidas de manglar en la Ciénaga Grande de Santa Marta registra la presencia de *Aiptasia pallida*, mientras que Barrios *et al.* (2002) abordan la ecología de las anémonas en ambientes coralinos. Lattig (2000) en su trabajo durante los proyectos Macrofauna I, realiza los primeros registros de anémonas de profundidad para el Caribe colombiano.

En cuanto al estudio de zoantídeos (orden Zoantharia), se destaca la publicación de Acosta *et al.* (2005) en Biota Colombiana, donde se presentó el listado taxonómico de 30 especies presentes en el Caribe y Colombia, y los

trabajos ecológicos de Acosta (2001), Acosta *et al.* (2001, 2005) y Acosta y González (2007), donde se estudian mecanismos reproductivos e incidencia de enfermedades en este grupo.

En el caso de los octocorales en el Caribe colombiano se destacan los trabajos ejecutados por Botero (1987), Sánchez (1994, 1999, 2001) y Sánchez *et al.* (1998) en aguas someras, los cuales se enfocaron en la realización de inventarios de especies, así como la ecología y sistemática del grupo. También se destacan los estudios con material biológico colombiano en la búsqueda de sustancias bioactivas realizados por Wei *et al.* (2004) y Rodríguez *et al.* (2004). En las últimas dos décadas, con el desarrollo de los proyectos Macrofauna I y II, Lattig (2000), Chacón-Gómez (2005) y Chacón-Gómez *et al.* (2007), enriquecieron los inventarios con información novedosa de aguas profundas (hasta 500 m).

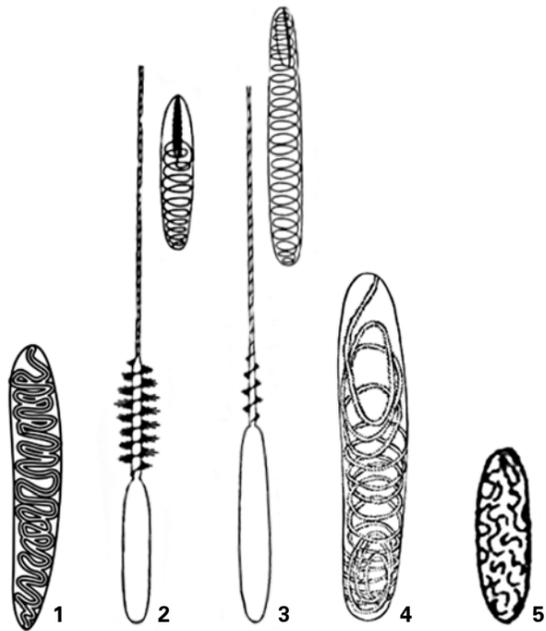
Los hidroides por su parte (Clase Hydrozoa, Orden Leptothecata) cuentan con trabajos desde mediados de la década del 70, entre los cuales se destacan los desarrollados por Wedler (1973, 1975), cuyo enfoque fue la ecología del grupo en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Luego, el mismo Wedler (1976, 1977), Flórez (1981) y Bandel y Wedler (1987) desarrollaron trabajos taxonómicos en las zonas litorales del Caribe colombiano. Recientemente, como producto de las expediciones de profundidad, Lattig (2000), Posada (2007) y Posada *et al.* (en prensa) complementaron los inventarios de esta fauna hasta 500 m de profundidad.

## DEFINICIÓN DEL GRUPO

El Phylum Cnidaria agrupa organismos de formas variadas, desde individuos de vida libre (medusas) a coloniales (corales, hidroides y zoantídeos) y solitarios sésiles (anémonas y algunos escleractinios). A pesar de su apariencia disímil la presencia de células especializadas denominadas cnidocitos o nematocistos es compartida

por todos los miembros del grupo. Los nematocistos (Figura 2) confieren a los cnidarios un éxito contundente como carnívoros, su importancia se basa en la poca energía que invierten en su creación, con respecto a su alta eficiencia durante la captura de las presas (Mackie 2002), tanto de organismos de gran tamaño como de pequeñas partículas en suspensión, para lo cual también pueden emplear mucus (Cairns *et al.* 2009). Los nematocistos son células constituidas por una cavidad cerrada que alberga una toxina paralizante, la cual inyecta a sus presas por medio de un hilo tubular ornamentado con púas y estiletes; su mecanismo de acción se inicia cuando el cnidocilio, un pequeño pelo sensor en el exterior del nematocisto, percibe las vibraciones que en el agua produce el paso de las potenciales presas, lo cual desencadena la expulsión de sus baterías de nematocistos, seguido por la parálisis de la presa y su consiguiente ingestión.

Después de las esponjas (Phylum Porifera), los cnidarios son los organismos más simples de los metazoarios



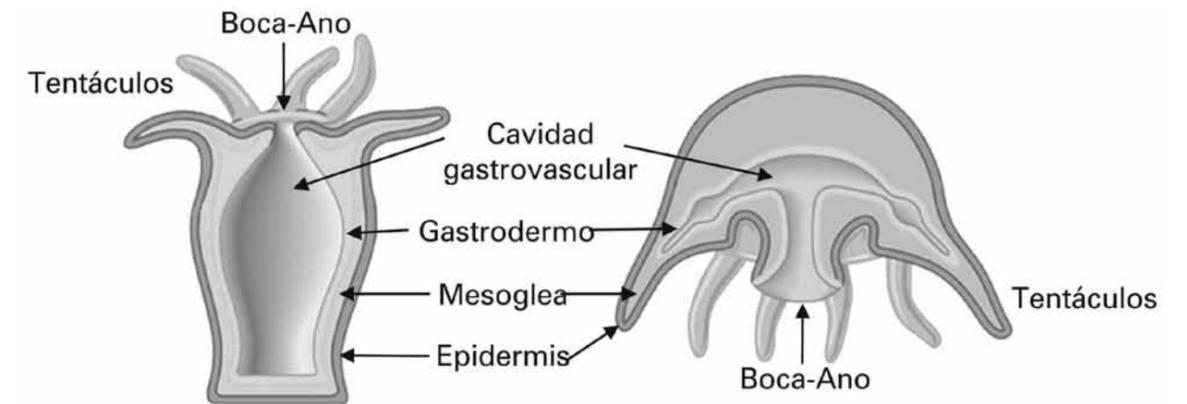
**Figura 2.** Esquema de los diferentes tipos de cnidocistos presentes en Scleractinia, 1. Espirocisto, 2. p-rhabdoid D, 3. b-rhabdoid, 4. Holotricos, 5. Holotricos II. Tomado y modificado de Mariscal (1974), Schmidh (1974) y Pires y Pitombo (1992).

verdaderos. Las células de estos animales se organizan en tejidos dispuestos radialmente y se caracterizan por ser diblásticos, es decir, tienen dos láminas celulares separadas por un mesoglea, en la cual se presentan los elementos esqueléticos. La lámina interna (endodermo o gastrodermis) forma la cavidad digestiva, mientras que la capa externa (ectodermo o epidermis) contiene los cnidocitos, las células epiteliales musculares y nerviosas (Cairns *et al.* 2009) (Figura 3).

En los cnidarios se observan dos formas principales que se alternan temporalmente durante su ciclo de vida. Inicialmente, durante la fase polipoide, se encuentran fijos al sustrato, y de forma asexual producen las medusas (fase medusoide) (Figura 3), las cuales se desarrollan en la columna de agua y mediante reproducción sexual, originan las larvas que producirán los nuevos pólipos. En la mayoría de grupos pueden presentarse ambas fases en el ciclo de vida (Clases Hydrozoa, Scyphozoa, Staurozoa y Cubozoa), con excepción de la Clase Anthozoa quienes perdieron la fase de medusa y se presentan estrictamente en forma de pólipos, bien sea solitarios como la mayoría de anémonas, o coloniales como la mayoría de corales duros, corales negros y octocorales.

Aunque los pólipos de los antozoos se asemejan a los de los hidroides en varios aspectos, algunas características permiten separarlos: 1. Los pólipos de los antozoos son por lo general más grandes y siempre tienen un esófago (estomodeo) dirigido hacia adentro del enterón, el cual está ausente en los pequeños pólipos de los hidroides. 2. El interior del cuerpo de los antozoos se encuentra dividido en porciones radiales o mesenterios, mientras que en los hidroides esta división no se presenta (Clarkson 1998).

Es así como la organización colonial se presenta solamente en la forma polipoide, y es gracias a esta adaptación que los cnidarios pueden construir los arrecifes modernos, lo cual les ha valido convertirse en uno de los grupos más importantes del medio marino. Los individuos de la co-



**Figura 3.** Esquema de las fases polipoide (izquierda) y medusoide (derecha) presentes en cnidarios, mostrando las láminas celulares y sus partes principales. Derechos reservados © 2005 Pearson Education, Inc.

lonia están conectados entre sí morfológicamente compartiendo recursos, cumpliendo las mismas funciones y realizando las funciones digestivas y circulatorias en el celénteron o cavidad gastrovascular. Cada pólipo está constituido por un pequeño saco en cuya parte superior se encuentra la boca rodeada por una corona de tentáculos. En los tentáculos albergan las baterías de nematocistos para la captura de alimento, y su dieta es principalmente carnívora, constituida por pequeños crustáceos, aunque algunos de ellos se alimentan de animales más grandes o de las finas partículas en suspensión.

Los cnidarios presentan numerosas asociaciones con diversos organismos. El caso más típico dentro del grupo es la simbiosis con algas verdes (zooxantelas) y con dinoflagelados (zooxantelas). Estas microalgas se encuentran embebidas en los tejidos (tentáculos y cuerpo) de un gran número de especies de corales, anémonas, hidroides y medusas. Dicha asociación simbiótica permite a algunas especies de corales duros presentar altas tasas de crecimiento en aguas someras (Cairns *et al.* 2009), facilitando la fijación de carbonato de calcio y convirtiéndolos así en los principales formadores de arrecifes. Por otra parte, las especies de profundidad carecen de esta simbiosis (especies azooxanteladas), por lo que algunos investigadores han sugerido que su alimentación está basada en la quimiosíntesis de bacterias

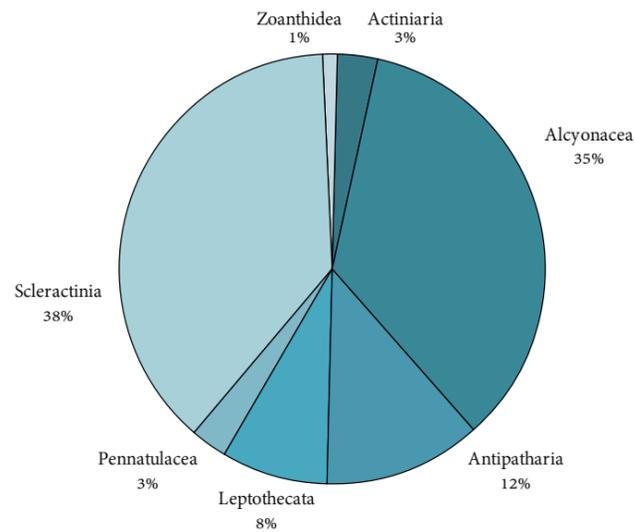
y/o ingestión directa de materia orgánica en suspensión (Roberts *et al.* 2009).

En cuanto a riqueza de especies se destaca la clase Anthozoa, la cual es la más grande y reconocida dentro del phylum, con aproximadamente 6000 especies exclusivas de ambientes marinos en el mundo. De otra parte la Clase Hydrozoa cuenta con alrededor de 3200 especies vivientes (Schuchert 1998), e incluye organismos marinos, de agua dulce, calcificados y planctónicos.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados y análisis que se presentan a continuación fueron obtenidos a partir de la información generada durante los proyectos Macrofauna I, II, Marcoral y ANH I, efectuados entre 1998 y 2009. Dicha información recopila en gran medida el conocimiento taxonómico actual de los cnidarios de la plataforma continental y el talud superior del Caribe colombiano entre 20 y 980 m de profundidad.

En el marco de estas expediciones en el mar profundo del Caribe colombiano se han encontrado hasta la fecha un total de 158 especies de cnidarios, representados principalmente por la clase Anthozoa (92%), de los cuales los

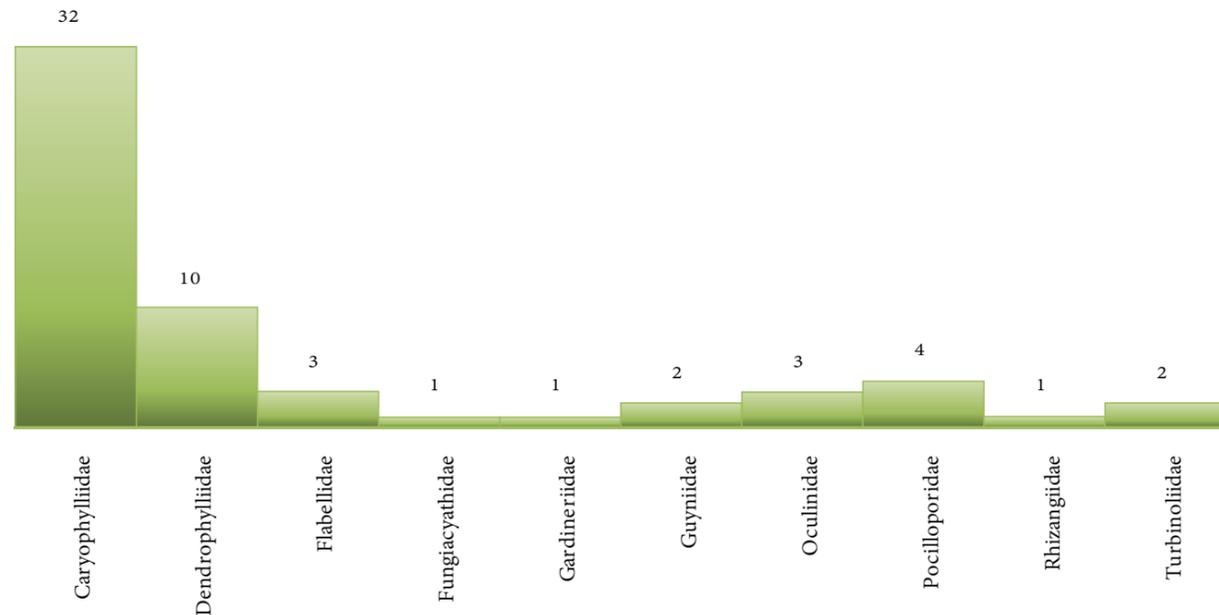


**Figura 4.** Riqueza de especies de los órdenes del phylum Cnidaria presentes en el Caribe colombiano.

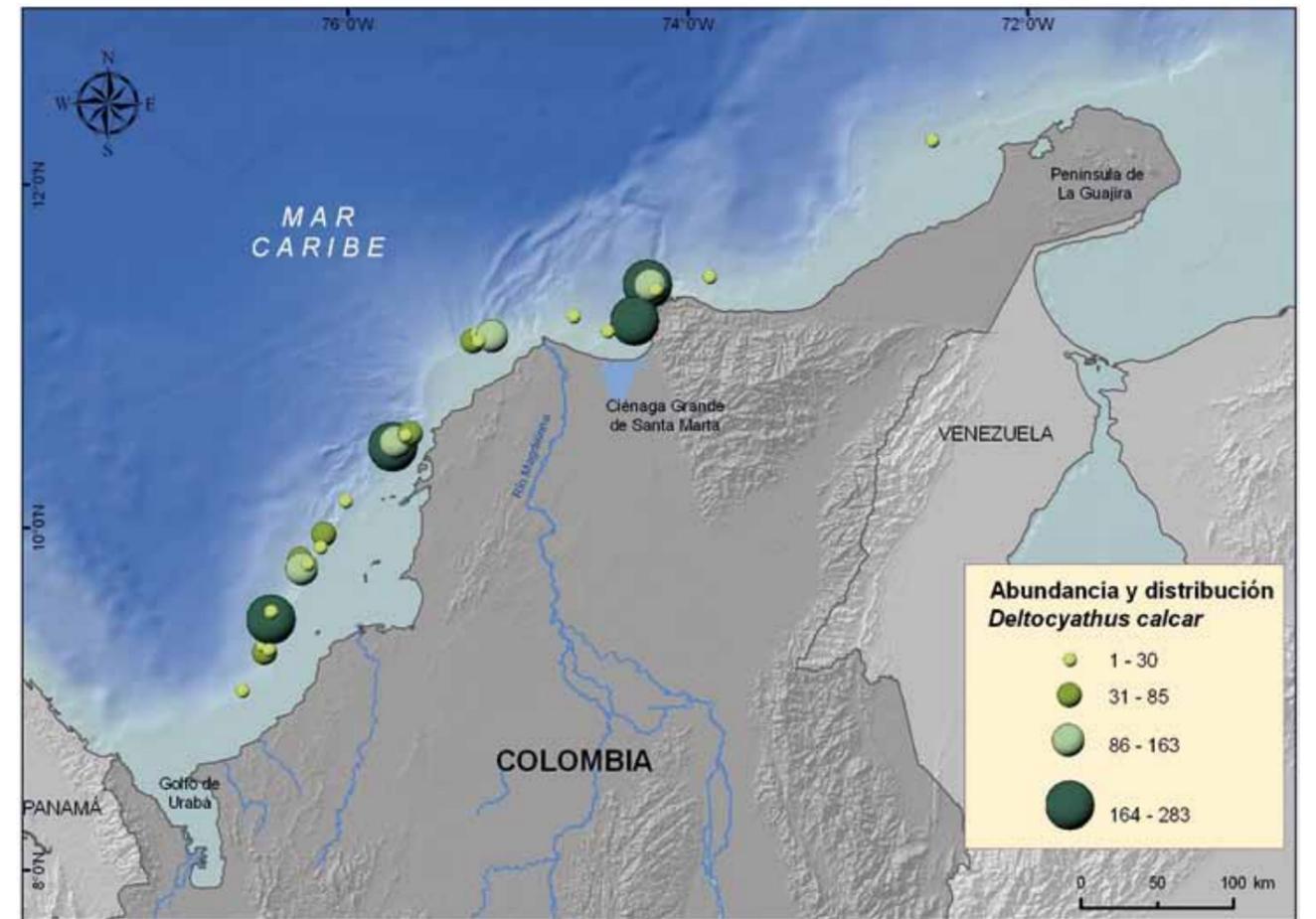
órdenes Scleractinia y Alcyonacea presentaron el mayor número de especies, con 59 y 5 respectivamente, seguidos por el orden Antipatharia con 19 especies, Actiniaria con 5 especies, Pennatulacea con 5 especies y Zoanthidea con 2 especies. De otra parte, la clase Hydrozoa estu-

vo representada únicamente por el orden Leptothecata, y se han encontrado 13 especies (Figura 4).

El orden Scleractinia es uno de los grupos más estudiados en el Caribe colombiano, pues como se mencionó anteriormente, son los principales formadores de arrecifes coralinos. Con base en trabajos anteriores se han registrado en total 118 especies, de las cuales 54 especies corresponden a corales zooxantelados que habitan principalmente entre 0 y 20 m de profundidad (Reyes *et al.* 2010). Sin embargo, este capítulo hace referencia particular a la diversidad de especies encontrada durante los muestreos en el mar profundo, la cual está constituida por 59 azooxanteladas y *Oculina tenella*, *Madracis asperula* y *Madracis pharensis*, como especies simbióticas facultativas (aposimbióticas). A partir de la información analizada se encontraron 10 familias (Figura 5) dentro de este orden, de las cuales la más representativa fue Caryophylliidae con 32 especies. Se estima que la familia Caryophylliidae está compuesta por más de 300 especies alrededor del mundo (Reyes *et al.* 2009), en su mayoría especies azooxanteladas de aguas profundas, lo



**Figura 5.** Riqueza de especies (158 spp.) de las familias pertenecientes al orden Scleractinia.



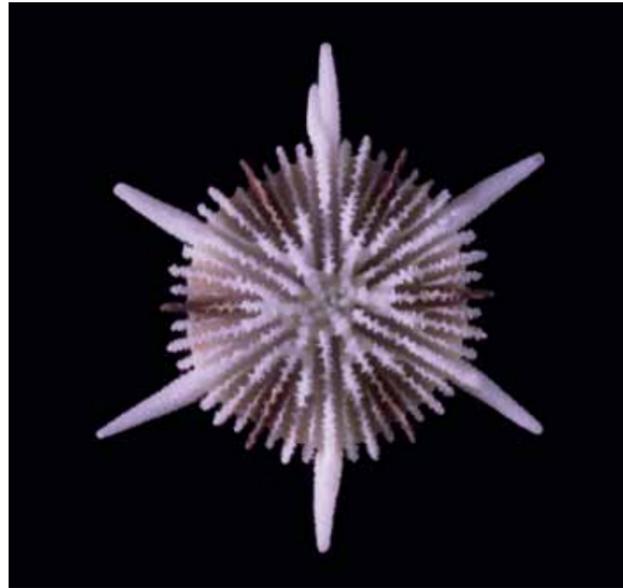
**Figura 6.** Distribución y abundancia del coral solitario *Deltocyathus calcar* en el Caribe colombiano.

cual se refleja en la alta diversidad encontrada entre los corales de profundidad en el Caribe colombiano. Como estrategias adaptativas, los integrantes de esta familia exhiben una amplia variedad de formas que varían desde cálices solitarios de vida libre, muy abundantes y comunes en los fondos lodosos del mar profundo, a cálices solitarios incrustantes en diferentes tipos de sustratos duros (incluyendo otros organismos como moluscos y poliquetos), y colonias ramificadas que pueden ser el soporte estructural para otros organismos. Dentro de esta familia se encuentra la especie más abundante y frecuente del Caribe colombiano, el coral solitario *Deltocyathus calcar* (Figura 6 y 7), seguido en frecuencia por *Caryophyllia ambrosia caribbeana* y *Deltocyathus eccentricus* y en abundancia por *Madracis myriaster* y

*Deltocyathus eccentricus*. Adicionalmente, vale la pena resaltar que fueron descritas tres nuevas especies para la ciencia perteneciente a este taxón (Tabla 3).

La segunda familia más representativa fue Dendrophylliidae con 10 especies, las cuales también exhiben formas solitarias o coloniales en su mayoría azooxanteladas comunes en aguas profundas. Generalmente se encuentran adheridos al sustrato y sus bases se encuentran colonizadas por otros organismos de naturaleza calcárea como briozoos y galerías de poliquetos.

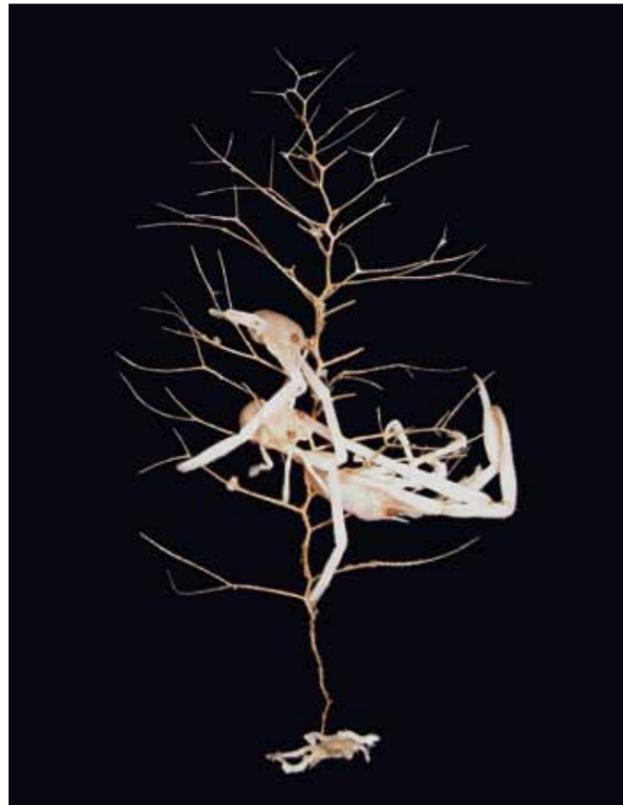
El siguiente orden en importancia fue Alcyonacea de la subclase Octocorallia. A diferencia de los escleractinios y estilasteridos, la mayoría de las colonias de octocora-



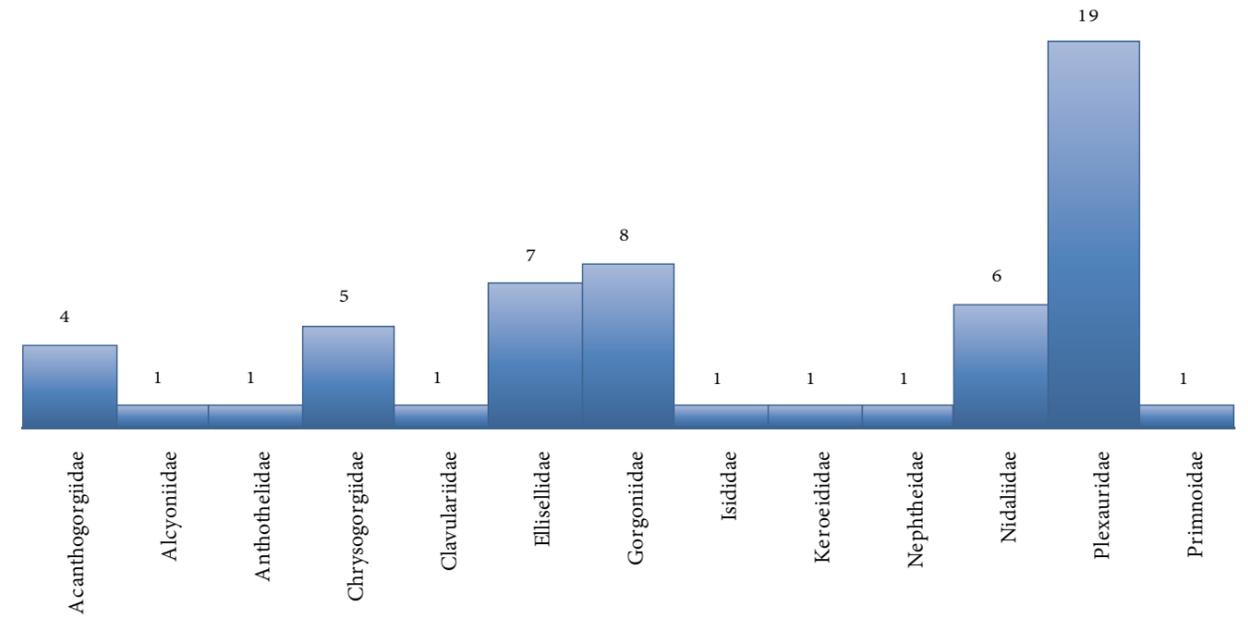
**Figura 7.** Ejemplar del coral solitario *Deltocyathus calcar* recolectado en aguas colombianas. Diámetro calicular 0.8 mm.

les tienen la capacidad de tolerar las corrientes marinas gracias a la flexibilidad que les confiere su eje principal, constituido principalmente por gorgonina, que es un compuesto derivado del colágeno. Esta característica ha permitido a los octocorales habitar con éxito en ambientes profundos de hasta los 6600 m (Roberts *et al.* 2009). Las colonias de octocorales constituyen un microhábitat apto para otros invertebrados; como ejemplo de esta asociación en el material colombiano se han observado particularmente ofiuros de las familias Gorgonocephalidae, Asteroschematidae y Eurialidae y crustáceos del género *Uroptychus* sp., habitando específicamente entre las ramas de las colonias del coral bambú de la familia Isididae y de *Chrysogorgia elegans* (Figura 8), siendo incluso bastante común encontrar un gran número de individuos asociados a una sola colonia. De acuerdo con la calidad de su estructura axial, talla y alta abundancia (Roberts *et al.* 2009), algunos géneros de octocorales son considerados formadores de hábitat en aguas profundas (Tabla 2). Sin embargo es importante mencionar que no todas las especies dentro del género tienen esta capacidad.

En las muestras analizadas se encontró que el orden Alcyonacea está conformado por 13 familias (Figura 8), en las cuales se observó una alta riqueza en Plexauridae con 19, Gorgoniidae con 8 y Ellisellidae con 7 especies. La taxonomía de octocorales es compleja de modo que muchos de los ejemplares fueron identificados hasta el nivel de género, debido a que su reconocimiento se basa en pocos caracteres (escleritos y ramificación de las colonias), y a que sus especies exhiben una alta plasticidad morfológica y fisiológica, resultando prudente dejarlas a este nivel con el fin de evitar una mayor confusión en la ya complicada taxonomía del grupo (Chacón-Gómez 2005). El empleo de herramientas modernas como el uso de microscopía electrónica SEM para la observación detallada de los escleritos, así como de la genética molecular, permitirán generar información que contribuya a la identificación a nivel de especie y por lo tanto, a un mejor conocimiento de esta fauna. De otra parte, las familias Gorgoniidae y Plexauridae son consideradas las más abundantes y di-



**Figura 8.** Colonia de la especie de octocoral *Chrysogorgia elegans*, como hábitat del crustáceo *Uroptychus* sp. Ancho de la base 1.2 cm.



**Figura 9.** Riqueza de especies de las familias pertenecientes al orden Alcyonacea.

versas de los octocorales de aguas someras en los arrecifes del Atlántico (Sánchez 2007), y contrario a lo que se pensaba anteriormente, también se presentan en aguas profundas hasta 500 m como es el caso de *Lophogorgia cardinalis*. Un registro importante fue la presencia de octocorales de la familia Isididae (Figura 10), conocidos comúnmente como corales bambú, los cuales son típicos de aguas profundas, caracterizados por presentar un esqueleto articulado, gracias a la presencia de nodos. Los miembros de esta familia se encuentran distribuidos en el Pacífico Oriental, Pacífico Occidental, Atlántico Norte (France 2007), Mar Mediterraneo (Bayer 1990) y Verrill en 1883, describió un ejemplar de la familia para las Indias occidentales. Su presencia en el Caribe colombiano constituye un nuevo registro para el país.

Aunque con un menor número de especies, los órdenes restantes Antipatharia (19 especies), Leptothecata (13 especies), Actiniaria (5 especies), Pennatulacea (5 especies) y Zoanthidea (2 especies), también representan aportes significativos al conocimiento de la biodiversidad del Phylum Cnidaria en el Caribe colombiano

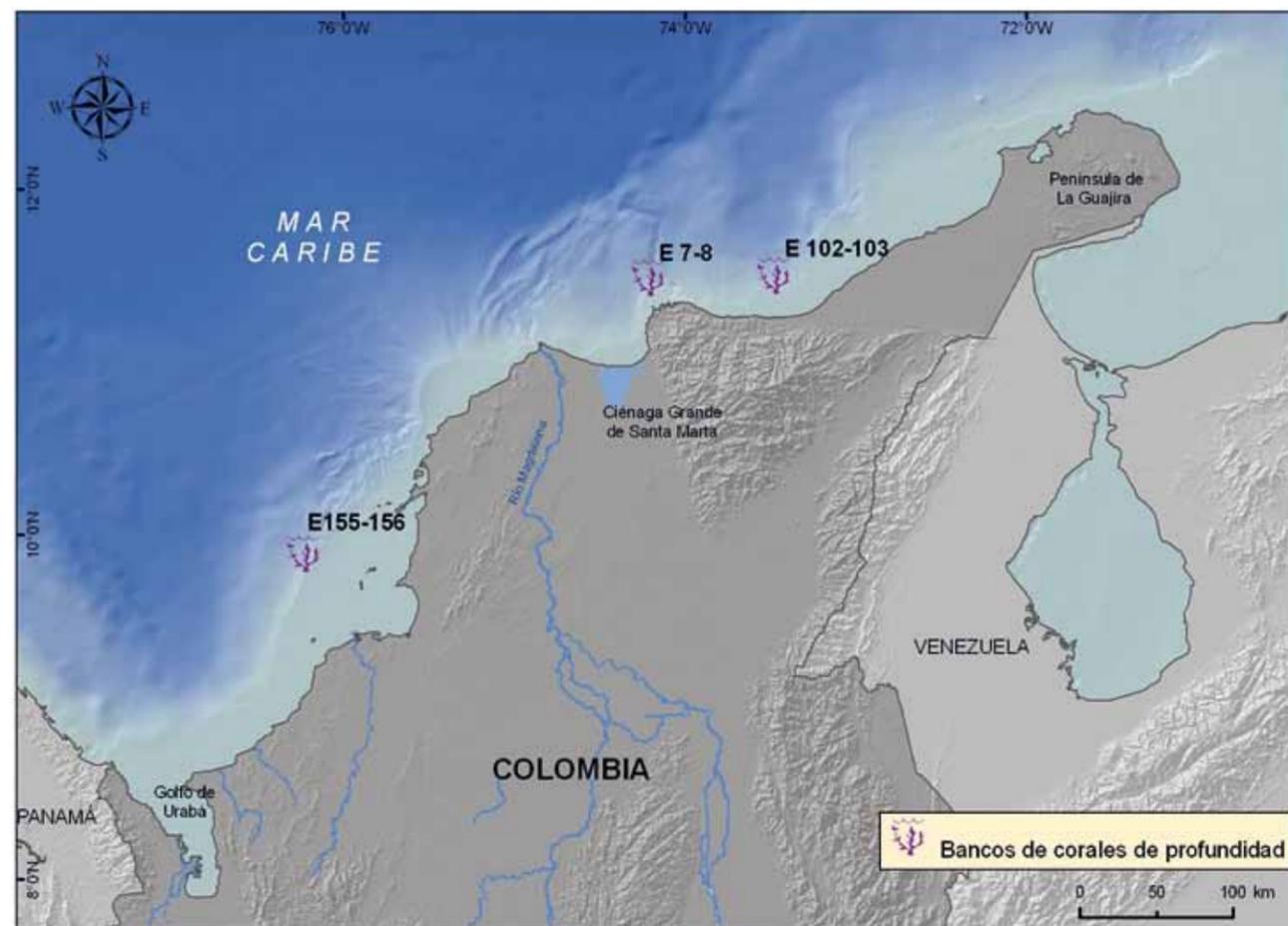
(Tabla 1), y muy seguramente en estudios posteriores se continuará revelando su rol ecológico y su importancia en campos como el de la bioprospección.



**Figura 10.** Colonia de un organismo de la familia Isididae. Ancho del tallo basal 1 mm.

**Tabla 1.** Resumen de la riqueza de los cnidarios encontrados durante los proyectos Macrofauna I, II, Marcoral y ANH I en el Caribe colombiano. Ver información complementaria en el anexo.

Taxón	Número total de especies	Número total de familias	Número de especies nuevos registros	Número de especies nueva para la ciencia
<b>Anthozoa</b>	145	33	52	3
Scleractinia	59	11	17	3
Alcyonacea	55	12	27	0
Pennatulacea	5	3	0	0
Antipatharia	19	2	4	0
Actinaria	5	3	4	0
Zoanthidea	2	2	0	0
<b>Hydrozoa</b>	13	3	5	0
Leptothecata	13	3	5	0



**Figura 11.** Estaciones en las cuales se encontraron comunidades coralinas de profundidad. E 102-103 frente al departamento de La Guajira, E 7-8 frente a Santa Marta y E 155-156 frente a San Bernardo e Islas del Rosario.

Dentro de los resultados más importantes de estos estudios, se encuentra el hallazgo de tres bancos de corales azooxantelados en aguas profundas en el Caribe colombiano (Figura 11). El primero se encontró localizado en la península de La Guajira a 70 m de profundidad, caracterizado por la presencia de la especie *Cladocora debilis* (Figura 12), junto a la cual se encontraron 156 especies de otros corales escleractinios, antipatarios, octocorales, moluscos, equinodermos, briozoos y peces. La segunda comunidad de corales profundos se encontró ubicada costa afuera frente a la ciudad de Santa Marta, en la cual se identificaron 12 especies de corales escleractinios asociados principalmente al coral *Madracis myriaster* (Figura 13), junto con otras 102 especies de diversos invertebrados y peces. Y la tercera localidad se encuentra ubicada frente a Islas de San Bernardo e Islas del Rosario, a 150 m de profundidad, donde igualmente el coral dominante fue *M. myriaster*, en esta ocasión acompañado por 19 especies de corales escleractinios y un total de 135 especies de invertebrados y peces (Reyes *et al.* 2005).



**Figura 12.** Colonia del coral estructurante *Cladocora debilis*. Ancho del tallo basal 0.5 cm.

Anteriormente se consideraba que los cnidarios, principalmente los corales, se restringían a mares poco profundos de aguas cálidas en zonas tropicales. Sin embargo, gracias al desarrollo de las técnicas acústicas para la exploración del mar profundo, durante las últimas décadas ha sido posible inspeccionar extensas áreas del fondo marino, descubriendo bancos y montes submarinos que lograron dimensionar la verdadera importancia de estos hábitats alrededor del mundo. Actualmente se considera que de las 5100 especies de corales que se estiman existentes, más de la mitad habitan en aguas profundas (Roberts *et al.* 2009). Estos ricos ecosistemas se originan a partir de especies de corales escleractinios que tienen la capacidad de generar una matriz estructural suficiente (Tabla 2) que con el paso del tiempo llega a conformar una estructura tridimensional donde la hidrodinámica, la geología y la biología se integran para dar lugar a uno de los ecosistemas más complejos y productivos de la tierra (Mortensen *et al.* 1995, Koslow 2007). De acuerdo con estudios en otras latitudes se ha



**Figura 13.** Fragmento de una colonia del coral *Madracis myriaster*, principal formador de comunidades coralinas a 150 y 200 m profundidad en Santa Marta (E 7-8) e Islas del Rosario y San Bernardo (E 155-156). Ancho del tallo basal 0.6 mm.

**Tabla 2.** Listado de especies de cnidarios registradas en el Caribe colombiano, formadoras y potencialmente formadoras de hábitat en aguas profundas. Información compilada de Reyes *et al.* (2005), Lutz y Ginsburg (2007) y Roberts *et al.* (2009).

Taxón	Formadoras de comunidades coralinas de profundidad	Potencialmente formadores de comunidades profundas
Orden Scleractinia (Corales duros)	<i>Anomocora fecunda</i>	
	<i>Cladocora debilis</i>	
	<i>Coenosmilia arbuscula</i>	<i>Caryophyllia berteriana</i>
	<i>Lophelia pertusa</i>	<i>Eguchipsammia cornucopia</i>
	<i>Madracis asperula</i>	<i>Javania cailleti</i>
	<i>Madracis brueggemanni</i>	<i>Oxysmilia rotundifolia</i>
	<i>Madracis myriaster</i>	<i>Polymyces fragilis</i>
Orden Alcyonacea (Octocorales)	<i>Madrepora carolina</i>	<i>Thalamophyllia riisei</i>
	<i>Madrepora oculata</i>	
		<i>Diodogorgia nodulifera</i>
		<i>Isididaae</i>
Orden Antipatharia (Corales negros)		<i>Riisea paniculata</i>
		<i>Swiftia exserta</i>
		<i>Antipathes atlantica</i>

logrado determinar que estas estructuras coralinas de profundidad son el hogar de millones de organismos, entre los cuales se encuentran especies de importancia comercial, ya sea por ser susceptibles a la explotación pesquera o por su potencial uso para la industria, como es el caso de las especies con sustancias bioactivas las cuales pueden ser empleadas para la producción de fármacos o cosméticos (Bruckner 2002). Además conforman valiosos archivos acerca de la historia de la tierra, ya que los esqueletos coralinos pueden ser usados como valiosos registros paleoceanográficos, geológicos, de temperatura de las masas de agua, radiación y química del océano (Roberts *et al.* 2009). Como característica particular de las comunidades coralinas en Colombia, es importante mencionar que se encuentran en zonas cercanas a las áreas arrecifales más grandes del Caribe colombiano, y con base en la presencia de especies comunes y a la historia geológica de estos sectores de la plataforma, se ha planteado la hipótesis de que existe conectividad entre estos ecosistemas, la cual debería ser estudiada con más detalle en futuras expediciones (Santodomingo *et al.* 2007).

Con base en los hallazgos preliminares de los tres bancos de profundidad en el Caribe colombiano, en el año 2005 se llevó a cabo el proyecto Marcoral, con el cual se exploró particularmente la comunidad presente frente a los archipiélagos de San Bernardo e Islas del Rosario. Durante este proyecto se integró el componente geológico que permitió realizar un levantamiento geofísico del subsuelo marino descubriendo una topografía irregular de canales y pequeños montículos, así como la evidencia física de filtraciones de gases o lodos del suelo marino (Santodomingo *et al.* 2007, Martínez *et al.* 2007). De esta manera, se encontró que la actividad diapírica (filtración de gases y lodos) en conjunto con la morfología del fondo marino, ha favorecido el establecimiento de la comunidad biológica coralina que habita en las áreas circundantes. Por esta razón, se resalta la importancia de continuar con el estudio de los procesos biológicos y geológicos que allí se desarrollan y que favorecen el florecimiento de diversos ensamblajes de especies de coral.

Asimismo en la Guajira colombiana se han encontrado fragmentos de *Lophelia pertusa* (Figura 14), uno de

**Tabla 3.** Especies nuevas para la ciencia descritas a partir de material recolectado en el Caribe colombiano. Asteriscos (\*) indican las especies provenientes de los proyectos incluidos en este capítulo.

Especie	Familia
<i>Stephanocyathus paliferus</i> Cairns, 1977	Caryophylliidae
<i>Tethocyathus prahli</i> (Lattig y Cairns, 2000) *	Caryophylliidae
<i>Stephanocyathus isabellae</i> Reyes, Santodomingo y Cairns, 2009 *	Caryophylliidae
<i>Heterocyathus antoniae</i> Reyes, Santodomingo y Cairns, 2009 *	Caryophylliidae
<i>Madracis myriaster</i> (Edwards y Haime, 1849)	Pocilloporidae



**Figura 14.** Fragmentos esqueléticos del coral formador de hábitat *Lophelia pertusa*. Ancho del tallo basal fragmento izquierdo, 8 mm.

los corales más abundantes y comunes que sustentan comunidades de profundidad en zonas de altas latitudes. Aunque ninguno de los fragmentos encontrados en Colombia presentó muestras de tejido vivo, su presencia en el Caribe colombiano deja abierta la posibilidad de la existencia de un banco coralino conformado por esta especie en zonas más profundas de La Guajira.

Otro de los resultados más representativos de los proyectos ejecutados fue el hallazgo de tres nuevas especies para la ciencia de corales escleractinios (Tabla 3), así como el reporte de 44 nuevos registros para el Caribe colombiano (Tabla 1) (Anexo). De las especies nuevas, *Tethocyathus prahli* (Figura 15) presenta una distribución trans-ístmica, encontrada tanto en el Caribe colombiano frente a la desembocadura del río Magdalena, y costa afuera frente a Punta Gallinas en la península de La Guajira, así como en el Pacífico colombiano frente a Baudó, Bahía Cupica, Coredó, y en la Isla Cocos en Costa Rica alrededor de 300 m de profundidad; esta especie sólo era conocida de depósitos fósiles del pleistoceno temprano en el Pacífico panameño, lo que podría estar sugiriendo que su distribución actual es un relictos de la amplia distribución original, previa al levantamiento de América central (Lattig y Cairns 2000). De otra parte, la segunda especie descrita *Heterocyathus antoniae* (Figura 16) también podría constituir un relictos de la fauna del Caribe, ya que este grupo se encuentra actualmente distribuido en el Pacífico (Hoeksema y Best 1991, Cairns y Zibrowius 1997, Cairns 1999) y en el Atlántico sólo se conocía de registros fósiles del sur de Francia (Stolarski *et al.* 2001). De esta manera, su presencia en el Caribe colombiano constituye un importante nuevo registro para la biota actual del Atlántico (Reyes *et al.* 2009).

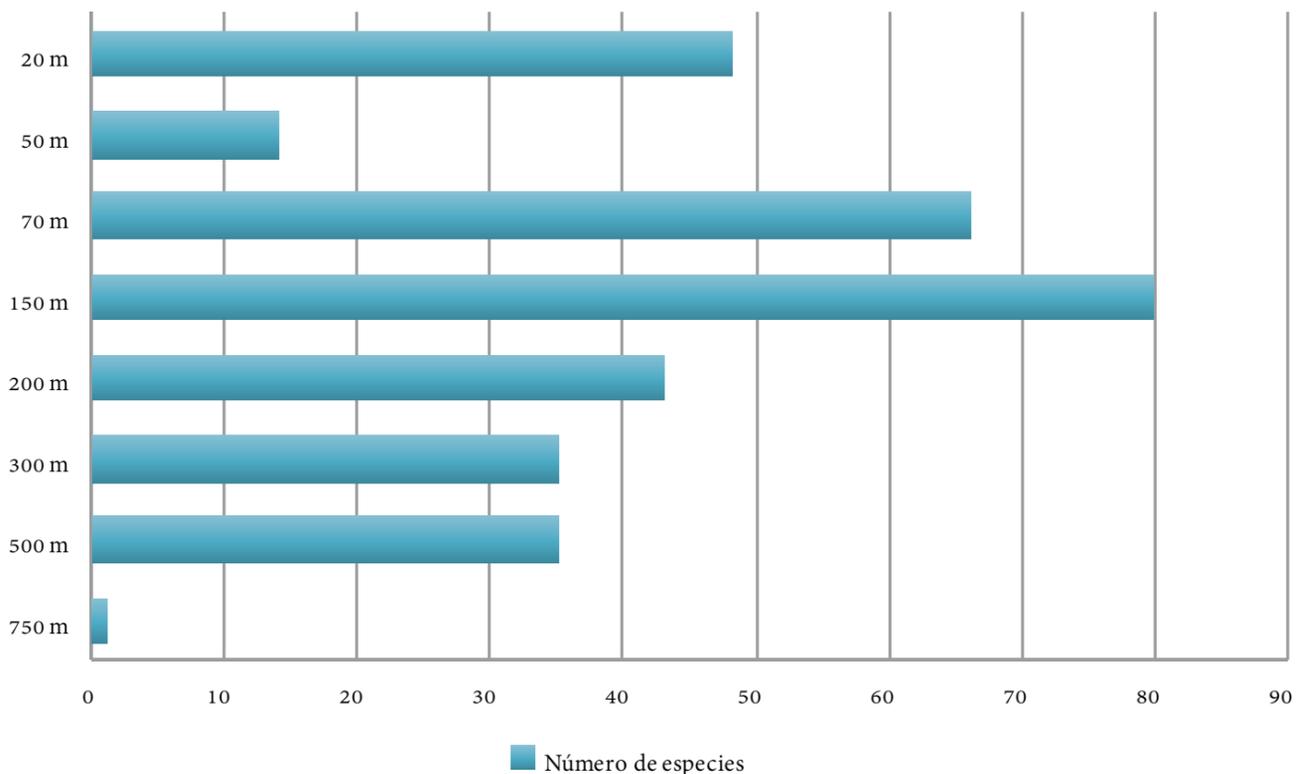
En cuanto a la riqueza del Phylum con respecto a la profundidad, se observó que el mayor número de especies se concentra entre las cotas de 70 y 150 m de profundi-



**Figura 15.** *Tethocyathus prahli*, coral escleractinio trans-ístmico. Diámetro calicular 1 cm.



**Figura 16.** *Heterocyathus antoniae*, nueva especie de coral escleractinio para el Atlántico. Diámetro calicular mayor 9.5 mm.



**Figura 17.** Riqueza de especies de los cnidarios con relación a la profundidad.



**Figura 18.** *Tubastraea coccinea*. Esta especie introducida en el Caribe durante los años 30 presenta actualmente una amplia distribución en mares colombianos.

dad, lo que refleja la alta contribución que en diversidad representan los corales azooxantelados en el Caribe colombiano (Figura 17) (Anexo). En comparación con otras regiones del mundo es conocido que las mayores riquezas de especies azooxanteladas se presentan en el quiebre de la plataforma continental, pues ofrece fondos de topografía heterogénea, apropiados para ser colonizados por algunas especies de cnidarios (Cairns 2000). Es así como las localidades con los valores más altos de riqueza en el Caribe colombiano están asociadas a las comunidades coralinas de profundidad, localizadas en dicho borde de la plataforma, donde predominan fenómenos geológicos diapíricos, como en el caso de las

comunidades estudiadas frente a las islas de San Bernardo e Islas del Rosario (Santodomingo *et al.* 2007). No obstante, la complejidad topográfica de un área no es un patrón estricto para todas las regiones del mundo ya que ha sido observado que en algunas localidades con alta rugosidad del fondo marino se presentan un número reducido de especies (Roberts *et al.* 2009). Por otra parte, Guinotte *et al.* (2006) sugieren que con el aumento en la profundidad, el horizonte de saturación de la aragonita disminuye y por ende la capacidad de los corales para fijar el carbonato de calcio del agua, hecho que puede ser un factor limitante en la distribución de los corales escleractinios en aguas profundas. No obs-

tante, se requiere una mayor intensidad de muestreo en aguas profundas colombianas, ya que la mayor cantidad de estaciones muestreadas en aguas someras puede estar sesgando el patrón de distribución encontrado.

De igual modo el desarrollo de estos estudios ha permitido rastrear la distribución de especies introducidas (no nativas) que actualmente proliferan en el Caribe, como es el caso de la especie *Tubastraea coccinea* (Figura 18). Se ha hipotetizado que *T. coccinea* es una especie proveniente del Indo-Pacífico, cuya introducción en el Caribe pudo haberse dado en a finales de los años 30 en Curaçao y/o Puerto Rico a través de colonias adheridas a los cascos de los buques; una vez establecida en dichas localidades, se dio paso a la dispersión rápida por el resto del Caribe (Cairns 2000). Aunque aún no se han evaluado los impactos que esta especie pueda tener sobre la fauna nativa, es muy probable que sea altamente competitiva por espacio con respecto a otros organismos bentónicos nativos del Caribe. Por otra parte, aunque en la actualidad no hay registros de la especie *Tubastraea tagusensis* en aguas del Caribe colombiano, esta especie oriunda de Galápagos ya fue registrada por De Paula y Creed (2004) en las costas de Brasil, sugiriendo que eventualmente podría también presentarse en Colombia.

## PERSPECTIVAS Y VACÍOS

Pese a que el phylum Cnidaria ha sido el foco de numerosas investigaciones desde los años sesenta, muchos de estos estudios se dirigieron particularmente al orden Scleractinia por su reconocida importancia en la construcción de arrecifes de coral. Los estudios taxonómicos y ecológicos han permitido tener un conocimiento amplio acerca de este grupo en aguas someras, hasta el punto de considerar que el inventario de escleractinios zooxantelados (formadores de arrecife) está casi completo en el Caribe colombiano (Reyes *et al.* 2010). Otra es la perspectiva que se tiene para el resto de órdenes

dentro del phylum, incluyendo a los escleractinios azooxantelados de aguas profundas, cuyos estudios continúan revelando información novedosa para la ciencia. De esta manera, el estudio de grupos como anémonas, octocorales, corales negros, penatuláceos, zoantideos e hidroides, así como de los otros grupos de cnidarios no contemplados en este capítulo, como medusas, ceriantarios y coralimorfarios, continúa siendo incipiente o prácticamente nulo, resaltando la importancia de llenar estos vacíos de información mediante futuras expediciones. Se espera que con el advenimiento de nuevas tecnologías para el estudio de la fauna marina, el futuro conocimiento taxonómico y ecológico continúe revolucionando los actuales paradigmas. La posibilidad de llegar a lugares remotos de difícil acceso, el empleo de técnicas novedosas para la observación y análisis de los organismos, así como la integración de otras ciencias como la geología y la oceanografía, permitirá tener un conocimiento más fiel y holístico de los ecosistemas marinos de profundidad, y contribuirá al entendimiento de los efectos de los cambios ambientales actuales, como la acidificación de los océanos y el ascenso en el nivel de mar, entre otros.

Otra rama de la investigación que atañe al estudio de los cnidarios es la bioprospección. En las últimas décadas se ha vislumbrado la importancia y utilidad que tienen algunos organismos marinos gracias a su capacidad de producir sustancias bioactivas, las cuales han logrado ser aisladas para la creación y producción de fármacos, productos industriales *anti-fouling* e incluso productos cosméticos. En el caso puntual de los cnidarios se han detectado sustancias activas en octocorales, como es el caso de los géneros *Pseudoterogorgia*, *Muricea* y *Eunicea* (Rodríguez *et al.* 2004, Wei *et al.* 2004, Gutiérrez *et al.* 2006), en los cuales se han identificado componentes con propiedades antiinflamatorias (Cobar *et al.* 1997) y con actividad antiplasmodial (Gutiérrez *et al.* 2006, Ospina *et al.* 2005), dejando en evidencia el potencial bioactivo y productivo. Sin embargo, dichas investigaciones son apenas el comienzo de la promisoriosa búsqueda

de especies a través de inventarios de biodiversidad, cuya bioprospección brindará soluciones a los problemas y enfermedades actuales de la humanidad y por ende al mejoramiento de la calidad de vida.

En cuanto a las políticas tendientes a la conservación de cnidarios en Colombia, se resalta la participación del país como parte de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), la cual contempla un control para el comercio de la totalidad de las especies de corales escleractinios (corales duros), antipatarios (corales negros), así como a los integrantes de las familias Milleporidae (corales de fuego) y Stylasteridae. Además, nueve especies de corales someros fueron incluidas bajo diferentes categorías de amenaza en el libro rojo de invertebrados marinos de Colombia (Ardila *et al.* 2002).

Finalmente, el objetivo a futuro es propender por un conocimiento más completo de los cnidarios en Colombia, que permita su conservación y uso sostenible. Para ello, a nivel nacional se propone incentivar el fortalecimiento del equipo humano para continuar abordando los nuevos retos científicos y políticos, así como adoptar tecnologías innovadoras, fortalecer lazos institucionales y apoyarse en las experiencias de otras regiones del Caribe, para continuar a la vanguardia en la investigación de estos organismos.

## AGRADECIMIENTOS

A Javier Reyes por la revisión del documento y sus valiosos aportes. A Patricia Lattig, Isabel Chacón-Gómez y Tibisay Posada-Palacio, quienes contribuyeron significativamente con la identificación del material de cnidarios de los proyectos Macrofauna I y II, aportando enormemente al conocimiento de la fauna de profundidad en el Caribe colombiano. Especialmente al equipo humano del Museo de Historia Natural Marina de Colombia NHNMC y a las personas que estuvieron al

frente de las diferentes campañas, personal científico, técnico y marinos.

A Colciencias, el Banco Interamericano de Desarrollo por la financiación de los proyectos Macrofauna I y II, y a la Agencia Nacional de Hidrocarburos por la financiación de los proyectos ANH-Invemmar fases I y II.

A Jiner Bolaños del Laboratorio de Sistemas de Información (LabSI) por la realización de los mapas.

## REFERENCIAS

- Acosta A., P.W. Sammarco y L.F. Duarte. 2001. Asexual reproduction in a zoanthid via fragmentation: the role of exogenous factors. *Bulletin of Marine Science*, 68:363-381.
- Acosta A., P.W. Sammarco y L.F. Duarte. 2005. New fission processes in the zoanthid *Palythoa caribaeorum*: description, and quantitative aspects. *Bulletin of Marine Science*, 76:1-26.
- Acosta A. y A.M. González. 2007. Fission in the zoantharia *Palythoa caribaeorum* (Duchassaing and Michelotii, 1860) populations: A latitudinal comparison. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 36:151-165.
- Acosta A., M. Casas, C.A. Vargas y J.E. Camacho. 2005. Lista de Zoantharia (Cnidaria: Anthozoa) del Caribe y de Colombia. *Biota colombiana*, 6(2):147-162.
- Acosta A. 2001. Disease in zoanthids: dynamics in space and time. *Hydrobiologia*, 460:113-130.
- Antonius A. 1972. Occurrence and distribution of stony corals (Anthozoa and Hydrozoa) in the vicinity of Santa Marta, Colombia. *Mitteilungen Aus Dem Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas*, 6:89-103.
- Ardila N., G.R. Navas y J. Reyes. 2002. Libro rojo de invertebrados marinos de Colombia. Invemmar, Ministerio de Medio Ambiente. La serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia, Bogotá, 180 p.
- Bayer F.M. 1990. A new isidid octocoral (Anthozoa: Gorgonacea) from New Caledonia, with descriptions of other new species from elsewhere in the Pacific Ocean. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 103: 205-228.
- Cairns S.D. 1999. Cnidaria Anthozoa: Deep-water azooxanthellate scleractinia from Vanuatu and Wallis and Futuna Islands. *Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle*, 180:31-167.

- Cairns S.D. 2000. A revision of the shallow-water azooxanthellate scleractinia of the Western Atlantic. *Studies of the Natural History in the Caribbean Region*, 75:1-231.
- Cairns S.D., L.A. Gershwin, F.J. Brook, P. Pugh, E.W. Dawson, O. Ocaña, W. Vervoort, G. Williams, J.E. Watson, D.M. Opresko, P. Schuchert, P.M. Hine, D.P. Gordon, H.J. Campbell, A.J. Wright, J.A. Sánchez y D.G. Fautin. 2009. 4. Phylum Cnidaria: Corals, medusae, hydroids, myxozoans, 59-101. En: Gordon D.P. (Ed.), *New Zealand inventory of biodiversity*, Volume 1, Kingdom Animalia. Radiata, Lophotrochozoa, Deuterostomia, Canterbury University Press, Christchurch, New Zealand.
- Cairns S.D. y H. Zibrowius. 1997. Cnidaria Anthozoa: Azooxanthellate Scleractinia from the Philippines and Indonesian regions. *Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle*, 172:27-243.
- Chacón-Gómez I.C. 2005. Aspectos taxonómicos de octocorales del talud superior y la plataforma continental (20m-500m de profundidad) en el Caribe colombiano. Trabajo de grado de la Facultad de Ciencias, Carrera de Biología, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 224 p.
- Chacón-Gómez I.C., N. Santodomingo, J. Reyes y C.E. Andrade-Sossa. Chrysogorgiidae (octocorallia) presentes en el Caribe colombiano, recolectados durante Macrofauna I y II. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, en prensa.
- Chacón-Gómez I.C., J.O. Reyes y N. Santodomingo. Octocorales (Anthozoa: Cnidaria) collected during Macrofauna explorations (20 m–500 m depth) along the Colombian Caribbean. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, en prensa.
- Chacón-Gómez I.C., N. Santodomingo y J.O. Reyes. 2008. First record of *Tobagorgia hardyi* (Octocorallia: Gorgonidae) from the Colombian Caribbean. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 37(1):211-216.
- Cobar O., A.D. Rodríguez, O.L. Padilla y J.A. Sánchez. 1997. The Calyculaglycosides: Dilophol-type diterpene glycosides exhibiting antiinflammatory activity from the Caribbean gorgonian *Eunicea* sp. *The Journal of Organic Chemistry*, 62(21):7183-7188.
- Clarkson E.N. 1998. Invertebrate palaeontology and evolution. Blackwell science, Oxford, Reino Unido, 452 p.
- Barrios L.M., J.O. Reyes, G.R. Navas y C.B. García. 2002. Distribución de las anémonas (Anthozoa, Actiniaria y Corallimorpharia) en el área de Santa Marta, Caribe colombiano. *Ciencias Marinas*, 28(1):37-48.
- Botero L. 1987. Zonación de octocorales gorgonáceos en el área de Santa Marta y Parque Nacional Natural Tayrona, Costa Caribe colombiana. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín*, 17:61-80.
- Daly M., M.R. Brugler, P. Cartwright, A.G. Collins, M.N. Dawson, D.G. Fautin, S.C. France, C.S. Mcfadden, D.M. Opresko, E. Rodriguez, S.I. Romano y J.L. Stake. 2007. The phylum Cnidaria: A review of phylogenetic patterns and diversity 300 years after Linnaeus, 127-182. En: Zhang Z.Q. y W.A. Shear (Eds.), *Linnaeus Tercentenary: Progress in Invertebrate Taxonomy*, *Zootaxa*, 1668:1-766.
- De Paula A.F. y J.C. Creed. 2004. Two species of the coral *Tubastraea* (Cnidaria, Scleractinia) in Brazil: A case of accidental introduction. *Bulletin of Marine Science*, 74(1):175-183.
- Díaz J.M., L.M. Barrios, M.H. Cendales, J. Garzón-Ferreira, J. Geister, M. López-Victoria, G.H. Ospina, F. Parra-Valencia, J. Pinzón, B. Vargas-Ángel, F.A. Zapata y S. Zea. 2000. Áreas coralinas de Colombia. Invemar Serie Publicaciones Especiales No. 5, Santa Marta. 176 p.
- Erhardt H. 1976. La existencia del coral *Stephanocyathus nobilis* (Moseley 1881) en la costa de la península de La Guajira. Una demostración primera para la costa Atlántica de Colombia. *Mitteilungen Aus Dem Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas*, 8:59-62.
- Flórez G.L. 1981. Inventario preliminar de la fauna de hidroides de la Bahía de Cartagena y áreas adyacentes. *Boletín Museo del Mar*, 11:112-129.
- France S. 2007. Genetic analysis of bamboo corals (Cnidaria: Octocorallia: Isididae): Does lack of colony branching distinguish Lepididid form Keratoisid? *Bulletin of Marine Science*, 81(3):323-333.
- Geister J. 1972. Zur Ökologie und wuchsform der säulenkoralle *Dendrogyra cylindrus* Ehrenberg beobachtungen in den riffen der insel San Andrés (Karibisches Meer, Kolumbien). *Mitteilungen Aus Dem Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas*, 6:77-87.
- Geyer O.F. 1969. Vorläufige Liste der scleractinien Korallen del Bahía de Concha bei Santa Marta, Kolumbien. *Mitteilungen Aus Dem Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas*, 3:17-24.
- Gutiérrez M., T.L. Capson, H.M. Guzmán, J. González, E. Ortega-Barría, E. Quiñoá y R. Riguera. 2006. Antiplasmodial metabolites isolated from the marine octocoral *Muricea austere*. *Journal of Natural Products*, 69:1379-1383.
- Guinotte J.M., J. Orr, S.D. Cairns, A. Freiwald, L. Morgan y R. George. 2006. Will human-induced changes in seawater chemistry alter the distribution of deep-sea scleractinian corals? *Frontiers in Ecology and the environment*, 4:141-146.
- Hoeksema B.W. y M.B. Best. 1991. New observations on scleractinian corals from Indonesia: 2. Sipunculan-associated species belonging to the genera *Heterocyathus* and *Heteropsammia*. *Zoologische Mededelingen*, 65:221-245.
- Koslow J.A. 1997. Seamounts and the ecology of deep-sea fisheries. *American Science*, 85:168-176.
- Lattig P. 2000. Porifera, Cnidaria y Annelida de la franja superior del talud continental (200-500 m) del Caribe colombiano. Trabajo de grado de la Facultad de Ciencias, Carrera de Biología, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 192 p.
- Lattig P. y S.D. Cairns. 2000. A new species of *Tethocyathus* (Scleractinia: Caryophylliidae), a trans-isthmian azooxanthellate species. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 113(3):590-595.
- Opresko D.M. y J.A. Sánchez. 1997. A new species of Antipatharian Coral (Cnidaria: Anthozoa) from the Caribbean Coast of Colombia. *Caribbean Journal of Science*, 33(1-2):75-81.
- Ortiz V. y J.A. Sánchez. 1992. Las comunidades del bajo arrecifal profundo Imelda, Isla Barú, Caribe colombiano: VI. Estructura de la comunidad de corales negros (Antipatharia: Antipathidae). VIII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar, Santa Marta, 341-349.
- Ospina C.A., A.D. Rodríguez, J.A. Sánchez, E. Ortega-Barría, T.L. Capson y A.M.S. Mayer. 2005. Caucanolides A-F, unusual antiplasmodial constituents from a Colombian collection of the Gorgonian coral *Pseudopterogorgia bipinnata*. *Journal of Natural Products*, 68:1519-1526.
- Pfaff R. 1969. Las Scleractinia y Milleporina de las Islas del Rosario. *Mitteilungen Aus Dem Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas*, 3:17-24.
- Posada T. 2007. Estudio taxonómico de hidrozoos de la superfamilia Plumularoidea (Cnidaria: Hydrozoa) de la plataforma continental y talud superior del Caribe colombiano. Trabajo de grado de la Facultad de Ciencias Básicas, Programa de Biología, Universidad del Magdalena, Santa Marta, 153 p.
- Posada T., A.L. Peña y G.R. Navas. Hidrozoos de la familia Aglaopheniidae de la plataforma continental y talud superior del Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, en prensa.
- Prahl H. von y H. Erhardt. 1988. Lista anotada de corales ahermatípicos de Colombia. Memorias del VI Seminario Nacional de Ciencias del Mar, Bogotá, 539-556.
- Reyes R.R. 1991. Macroinvertebrados asociados a las raíces de *Rhizophora mangle* Linaeus, 1753 (mangle rojo), en la Ciénaga Grande de Santa Marta y en la Bahía de Chengue y Nenguange, Caribe colombiano. Tesis Magister Scientiae, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, 120 p.
- Reyes J. 2000. Lista de los corales (Cnidaria: Anthozoa: Scleractinia) de Colombia. *Biota Colombiana*, 1(2):164-76.
- Reyes J., N. Santodomingo, A. Gracia, G. Borrero-Pérez, G.R. Navas, L.M. Mejía-Ladino, A. Bermúdez y M. Benavides. 2005. Southern Caribbean azooxanthellate coral communities off Colombia, 309-330. En: Freiwald A. y J.M. Roberts (Eds.), *Cold-water Corals and Ecosystems*, Springer-Verlag, Berlín.
- Reyes J., N. Santodomingo y S.D. Cairns. 2009. Caryophylliidae (Scleractinia) from the Colombian Caribbean. *Zootaxa*, 2262:1-39.
- Reyes J., N. Santodomingo y P. Flórez. 2010. Corales escleractinios de Colombia. Invemar Serie de publicaciones especiales No. 14, Santa Marta, 246 p.
- Roberts J.M., A.J. Wheeler, A. Freiwald y S.D. Cairns. 2009. Cold-Water Corals: The biology and geology of deep-sea coral habitats. Cambridge University Press, Reino Unido, 334 p.
- Rodríguez I., Y.P. Shi, O.J. García, A.D. Rodríguez, A.M.S. Mayer, J.A. Sánchez, E. Ortega-Barría y J. González. 2004. New pseudopterodin and seco-pseudopterodin diterpene glycosides from two Colombian isolates of *Pseudopterogorgia elisabethae* and their diverse biological activities. *Journal of Natural Products*, 67(10):1672-1680.
- Mackie G.O. 2002. What's new in cnidarian biology? *Canadian Journal of Zoology*, 80(10):1649-1653.
- Manjarrés A.G. 1977. Contribución al conocimiento de las actinias en la región de Santa Marta. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín*, 9:141-156.
- Manjarrés A.G. 1978. Nuevos encuentros de Actinias (Hexacorallia) en la región de Santa Marta, Colombia. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín*, 10: 127-132.
- Manjarrés A.G. 1979a. Observaciones sobre los Anthozoa (excepto Madreporaria) en las Islas del Rosario. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín*, 10:127-132.
- Manjarrés A.G. 1979b. Ecological aspects of corallimorpharia and actiniaria in the region of Santa Marta. *Proceedings of the Association of Island Marine Laboratories of the Caribbean*, 32 p.
- Martínez A., G. Ojeda, J.O. Reyes, N. Santodomingo y A. Gracia. 2007. Morfología del fondo del mar en los alrededores del archipiélago de San Bernardo. Memorias del XII Congreso Latinoamericano del Ciencias del Mar Colacmar, Florianópolis, Brasil, 414 p.
- Mortensen P.B., M. Hovland, T. Brattegard y R. Farestveit. 1995. Deep water bioherms of the scleractinian coral *Lophelia pertusa* (L.) at 64°N on the Norwegian shelf: Structure and associated megafauna. *Sarsia*, 80:145-158.
- Sánchez J.A. 1994. Presencia de *Stylatula diadema* Bayer (Pennatulacea) y *Carijoa riisei* (Duchassaing y Michelotti) (Teleostea) en el Caribe suroccidental, Colombia. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín*, 23:137-147.

- Sánchez J.A. 1999. Black coral-octocoral distribution patterns on a deep-water reef, Imelda bank, Caribbean Sea, Colombia. *Bulletin of Marine Science*, 65(1):215-225.
- Sánchez J.A. 2001. Systematics of the Southwestern Caribbean *Muriceopsis aurivillius* (Cnidaria: Octocorallia: Gorgonacea) with description of a new species. *Bulletin of the Biological Society of Washington*, 10:160-180.
- Sánchez J.A. 2007. A new genus of Atlantic octocorals (Octocorallia: Gorgoniidae): systematics of gorgoniids with asymmetric sclerites. *Journal of Natural History*, 41(9):493-509.
- Sánchez J.A., J.M. Díaz y S. Zea. 1998. Octocoral and black coral distribution patterns on the barrier reef-complex of Providencia island, Southwestern Caribbean. *Caribbean Journal of Science*, 34(3-4):250-264.
- Sánchez J.A. y V. Ortiz. 1992. Distribución de los corales negros (Antipatharia, Antipathidae) de arrecifes coralinos entre Cartagena y el Golfo de Urabá. VIII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar, Santa Marta, 328-340.
- Santodomingo N., J.O. Reyes, A. Gracia, A. Martínez, G. Ojeda y C. García. 2007. Azooxanthellate *Madracis* coral communities off San Bernardo and Rosario Islands (Colombian Caribbean). *Bulletin of Marine Science*, 82(3):273-287.
- Schuchert P. 1998. How many hydrozoan species are there? *Zoologische verhandlungen*, 323:209-219.
- SIBM. 2010. Sistema de información sobre Biodiversidad Marina de Colombia. Base de datos en línea. URL: <http://siam.invemar.org.co/siam/sibm/index.htm> [Fecha de consulta: 01/02/2010].
- Stolarski J., H. Zibrowius y H. Löser. 2001. Antiquity of the scleractinian-sipunculan symbiosis. *Acta Paleontologica Polonica*, 46(3):309-330.
- Shi Y.P., A.D. Rodríguez, C.L. Barnes, J.A. Sánchez, R.G. Raptis y P. Baran. 2002. New Terpenoid constituents from *Eunicea pinta*. *Journal of Natural Products*, 65 (9):1232-1241.
- Verrill A.E. 1883. Reports on the Anthozoa and on some additional species dredged by the « Blake » in 1877-1879, and by the U.S. Fish Commission Steamer « Fish Hawk » in 1880-82. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*, 11: 1-72.
- Wei X., A.D. Rodríguez, P. Bran, R.G. Raptis, J.A. Sánchez, E. Ortega-Barria y J. Gonzales. 2004. Antiplasmodial cembradiene diterpenoids from a Southwestern Caribbean gorgonian octocoral of the genus *Eunicea*. *Tetrahedron*, 60:11813-11819.
- Wedler E. 1973. Die hydroiden der Ciénaga de Santa Marta (Kolumbien) und einiges zu ihrer ökologie. *Mitteilungen aus dem Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas*, 7:31-39.
- Wedler E. 1975. Ökologische untersuchungen an hydroiden des felslitorals van Santa Marta (Kolumbien). *Helgoländer wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 27(3): 324-363.
- Wedler E. 1976. *Clytia colombiana* n sp., un nuevo hidroide de la familia Campanulariidae, procedente de Santa Marta (Colombia). *Mitteilungen aus dem Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas*, 8:41-44.
- Wedler E. 1977. Lista de las actinias e Hydroida encontradas en las islas del Rosario. Informe preliminar sobre la situación general de las islas del Rosario, Santa Marta, Invenmar - Colciencias, 30 p.
- Werding B. y H. Erhardt. 1976. Los corales (Anthozoa e Hydrozoa) de la bahía de Chengue en el Parque Nacional Natural "Tairona" (Colombia). *Mitteilungen Aus Dem Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas*, 8:45-57.
- Werding B. y H. Erhardt. 1977. Un encuentro de *Madracis myriaster* (Milne-Edwards y Haime, 1849) (Scleractinea) en la Bahía de Santa Marta, Colombia. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta de Betín*, 9:105-107.

## ANEXO

### Listado de Especies

Distribución de 159 especies de cnidarios: 60 Scleractinia, 55 Alcyonacea, 5 Pennatulacea, 19 Antipatharia, 5 Actiniaria, 2 Zoanthidea y 13 Leptothecata colectados durante las expediciones Invenmar en el Caribe colombiano. Distribución geográfica: (AMPLIA) Ampliamente distribuido en el Caribe colombiano; (NE) Nororiental, en los sectores Guajira, Palomino y Tayrona; (SW) Suroccidental, en los sectores Magdalena, Archipelagos coralinos y Darién; (CPROF) Asociado a comunidades de corales de profundidad en los sectores Palomino, Tayrona y Archipiélagos coralinos. La mayoría son especies azooxanteladas (sin marca), excepto por (+) zooxantelados y (●) apozooxantelados o facultativos. Los asteriscos (\*) indican las especies que fueron nuevos registros para el Caribe colombiano. Información recopilada de Lattig 2000, Lattig y Cairns (2000), Lattig y Reyes (2001), Chacón-Gómez *et al.* (en prensa), Chacón-Gómez *et al.* (en prensa), Posada *et al.* (en prensa), Posada (2007), Reyes (2000), Reyes *et al.* (2005), Santodomingo *et al.* (2007), Reyes *et al.* (2010) y SIBM (2010). *Plumularia* sp.<sup>1</sup> y sp.<sup>2</sup>, fueron registradas por Lattig (2000) y sp.<sup>3</sup> por Posada (2007).

Taxón	Distribución geográfica	Rango batimétrico (m)
Orden Scleractinia		
Familia Caryophylliidae		
<i>Anomocora fecunda</i> (Pourtalès, 1871)	AMPLIA	10 - 200
<i>Anomocora marchadi</i> (Chevalier, 1966)	NE	50
<i>Anomocora prolifera</i> (Pourtalès, 1871)	AMPLIA	50 - 200
<i>Caryophyllia ambrossia caribbeana</i> Cairns, 1979	AMPLIA	200 - 510
<i>Caryophyllia barbadensis</i> Cairns, 1979*	CP	160
<i>Caryophyllia berteriana</i> Duchassaing, 1850*	AMPLIA	22 - 293
<i>Caryophyllia crypta</i> Cairns, 2000	NE	17 m
<i>Cladocora arbuscula</i> (Lesueur, 1821) +	NE	10 - 60
<i>Cladocora debilis</i> Milne Edwards y Haime, 1849	AMPLIA	10 - 153
<i>Coenocyathus parvulus</i> (Cairns, 1979)*	CP	21 - 160
<i>Coenosmilia arbuscula</i> Pourtalès, 1874	CP	72 - 218
<i>Colangia immersa</i> Pourtalès, 1871	NE	73
<i>Deltocyathus calcar</i> Pourtalès, 1874	AMPLIA	107 - 520
<i>Deltocyathus eccentricus</i> Cairns, 1979	AMPLIA	270 - 507
<i>Deltocyathus italicus</i> (Michelotti, 1838)	SW	70.9 - 500
<i>Heterocyathus antoniae</i> Reyes, Santodomingo y Cairns, 2009	ENDEMICA	21 - 76 m
<i>Lophelia pertusa</i> (Linnaeus, 1758)	NE	305 - 314
<i>Oxysmilia rotundifolia</i> (Milne Edwards y Haime, 1848)	AMPLIA	107 - 238
<i>Paracyathus pulchellus</i> (Philippi, 1842)	AMPLIA	10 - 269
<i>Phyllangia americana</i> (Milne Edwards y Haime, 1848)	AMPLIA	10 - 73
<i>Polycyathus mayae</i> Cairns, 2000*	CP	113 - 160

## Continuación Anexo 2.

Taxón	Distribución geográfica	Rango batimétrico (m)
<i>Polycyathus senegalensis</i> Chevalier, 1966	NE	73 - 152
<i>Rhizosmilia maculata</i> (Pourtalès, 1874)	NE	15 - 42
<i>Stephanocyathus diadema</i> (Moseley, 1876)	SW	502 - 1257
<i>Stephanocyathus isabellae</i> Reyes, Santodomingo y Cairns, 2009	AMPLIA	493 - 504
<i>Stephanocyathus paliferus</i> Cairns, 1977	AMPLIA	269 - 510
<i>Stephanocyathus laevifundus</i> Cairns, 1977	SW	1158 - 1225
<i>Tethocyathus prahli</i> Lattig y Cairns, 2000	AMPLIA	152 - 310
<i>Tethocyathus variabilis</i> Cairns, 1979*	CP	113 - 160
<i>Thalamophyllia riisei</i> (Duchassaing y Michelotti, 1864)*	AMPLIA	22 - 160
<i>Trochocyathus fasciatus</i> Cairns, 1979*	NE	218
<i>Trochocyathus rawsonii</i> Pourtalès, 1874*	AMPLIA	70 - 308
Familia Dendrophylliidae		
<i>Balanophyllia bayeri</i> Cairns, 1979*	CP	200
<i>Balanophyllia caribbeana</i> Cairns, 1977	AMPLIA	20.4 - 107
<i>Balanophyllia cyathoides</i> (Pourtalès, 1871)*	AMPLIA	70.5 - 200
<i>Balanophyllia dineta</i> Cairns, 1977	NE	151
<i>Balanophyllia palifera</i> Pourtalès, 1878*	AMPLIA	22 - 218
<i>Balanophyllia pittieri</i> (Cairns, 1977)	NE	70.1 - 200
<i>Balanophyllia wellsi</i> Cairns, 1977*	AMPLIA	73 - 160
<i>Eguchipsammia cornucopia</i> Pourtalès, 1871*	CP	117 - 160
<i>Rhizopsammia goesi</i> (Lindstroem, 1877)	NE	73 - 152
<i>Tubastraea coccinea</i> Lesson, 1829	AMPLIA	10
Familia Flabellidae		
<i>Flabellum moseleyi</i> Pourtalès, 1880	AMPLIA	304 - 520
<i>Javania cailleti</i> (Duchassaing y Michelotti, 1864)	AMPLIA	113 - 428
<i>Polymyces fragilis</i> Pourtalès, 1868*	C PROF	200 - 218
Familia Fungiacyathidae		
<i>Fungiacyathus crispus</i> (Pourtalès, 1871)*	AMPLIA	276 - 318
Familia Gardineriidae		
<i>Gardineria minor</i> Wells, 1973	C PROF	17 - 107
Familia Guyniidae		
<i>Guynia annulata</i> Duncan, 1872	NE	150 - 153
<i>Schizocyathus fissilis</i> Pourtalès, 1874*	AMPLIA	158 - 507
Familia Oculinidae		
<i>Madrepora carolina</i> (Pourtalès, 1871)*	C PROF	108 - 155
<i>Madrepora oculata</i> Linnaeus, 1758	SW	924 - 950
<i>Oculina tenella</i> Pourtalès, 1871●	NE	21.4 - 150

## Continuación Anexo 2.

Taxón	Distribución geográfica	Rango batimétrico (m)
Familia Pocilloporidae		
<i>Madracis asperula</i> Milne Edwards y Haime, 1849●	AMPLIA	20 - 153
<i>Madracis brueggemanni</i> (Ridley, 1881)	C PROF	107 - 160
<i>Madracis myriaster</i> (Milne Edwards y Haime, 1849)	AMPLIA	21.4 - 300
<i>Madracis pharensis</i> (Heller, 1868)●	C PROF	20 - 107
Familia Rhizangiidae		
<i>Astrangia solitaria</i> (Lesueur, 1817)	AMPLIA	10 - 154
Familia Turbinoliidae		
<i>Sphenotrochus auritus</i> Pourtalès, 1874	NE	10
<i>Sphenotrochus lindstroemi</i> Cairns, 2000	NE	10
Orden Antipatharia		
Familia Antipathidae		
<i>Antipathes atlantica</i> Gray, 1857	C PROF	71.6
<i>Antipathes columnaris</i> (Duchassaing, 1870)*	C PROF	196 - 520
<i>Antipathes furcata</i> Gray, 1857	NE	50 - 70
<i>Antipathes gracilis</i> Gray, 1860	C PROF	21 - 160
<i>Antipathes lenta</i> Pourtalès, 1871	NE	20 - 300
<i>Antipathes</i> sp.	NE	200 - 494
<i>Cirripathes paucispina</i> (Brook, 1889)	NE	150
<i>Stichopathes filiformis</i> (Gray, 1860)	NE	150
<i>Stichopathes lutkeni</i> (Brook, 1889)*	C PROF	160 - 300
<i>Stichopathes occidentalis</i> (Gray, 1860)	C PROF	70 - 160
<i>Stichopathes pourtalesi</i> Brook, 1889	NE	70 - 300
<i>Stichopathes</i> sp.	NE	50 - 502
Familia Aphanipathidae		
<i>Aphanipathes salix</i> (Pourtalès, 1880)*	AMPLIA	160 - 200
<i>Elatopathes abietina</i> (Pourtalès, 1874)*	C PROF	155 - 160
<i>Ripidopathes colombiana</i> (Sánchez y Opresko, 1998)	NE	296
Familia Myriopathidae		
<i>Tanacetipathes barbadensis</i> (Brook, 1889)	C PROF	50 - 160
<i>Tanacetipathes spinescens</i> (Gray, 1860)	C PROF	160
<i>Tanacetipathes tanacetum</i> (Pourtalès, 1880)	NE	305
Familia Stylopathidae		
<i>Stylopathes columnaris</i> (Duchassaing, 1870)	C PROF	150 - 520
Orden Actiniaria		
Familia Actiniidae		
<i>Leipsiceras pollens</i> McMurrich, 1893*	AMPLIA	200 - 500

## Continuación Anexo 2.

Taxón	Distribución geográfica	Rango batimétrico (m)
Familia Bathypheleidae		
<i>Daontensia</i> sp.	NE	296
Familia Hormathiidae		
<i>Actinauge longicornis</i> Verrill, 1882*	NE	406 - 454
<i>Amphianthus caribaea</i> Verrill, 1899*	NE	200 - 500
<i>Monactis vestita</i> (Gravier, 1918)*	AMPLIA	282 - 498
Orden Zoanthidea		
Familia Epizoanthidae		
<i>Epizoanthus</i> sp.	AMPLIA	20 - 520
Familia Zoanthidae		
<i>Protopalythoa</i> sp.	NE	20 - 76
Orden Alcyonacea		
Familia Acanthogorgiidae		
<i>Acanthogorgia aspera</i> Pourtalès, 1867	CPROF	70 - 160
<i>Acanthogorgia schrammi</i> Duchassaing y Michelotti, 1864*	NE	70 - 304
<i>Acanthogorgia</i> sp.	NE	50 - 50
<i>Muricella</i> sp.*	CPROF	20 - 504
Familia Alcyoniidae		
<i>Bellonella rubistella</i> (Deichmann, 1936)*	NE	70 - 152
Familia Anthothelidae		
<i>Diodogorgia nodulifera</i> (Hargitt y Rogers, 1901)	AMPLIA	10 - 300
Familia Chrysogorgiidae		
<i>Chrysogorgia desbonni</i> Duchassaing y Michelotti, 1864*	SW	296 - 296
<i>Chrysogorgia elegans</i> Verrill, 1883*	AMPLIA	484 - 510
<i>Chrysogorgia</i> sp.*	NE	70.5 - 475
<i>Chrysogorgia thyriformis</i> Deichmann, 1936*	CPROF	160 - 160
<i>Trichogorgia lyra</i> Bayer y Muzik, 1976	AMPLIA	20 - 150
Familia Clavulariidae		
<i>Carijoa riisei</i> Duchassaing y Michelotti, 1860 ●	NE	21.4 - 500
Familia Ellisellidae		
<i>Ctenocella</i> sp.1 ●	NE	20 - 152
<i>Ellisella barbadensis</i> (Duchassaing y Michelotti, 1864) ●	NE	50
<i>Nicella guadalupensis</i> (Duchassaing y Michelotti, 1860)*	SW	107 - 160
<i>Nicella</i> sp.*	CPROF	107 - 200
<i>Riisea paniculata</i> Duchassaing y Michelotti, 1860*	CPROF	160 - 200
<i>Verrucella</i> sp.	AMPLIA	50 - 200
<i>Viminella</i> sp.*	AMPLIA	20 - 300

## Continuación Anexo 2.

Taxón	Distribución geográfica	Rango batimétrico (m)
Familia Gorgoniidae		
<i>Leptogorgia medusa</i> Bayer, 1952* ●	NE	70
<i>Leptogorgia setacea</i> Pallas, 1766 ●	AMPLIA	10 - 152
<i>Leptogorgia</i> sp. ●	NE	50
<i>Lophogorgia cardinalis</i> Bayer, 1961* ●	NE	50 - 498
<i>Lophogorgia punicea</i> Milne Edwards y Haime, 1857* ●	AMPLIA	10 - 20.9
<i>Lophogorgia</i> sp. ●	AMPLIA	10 - 475
<i>Pterogorgia</i> sp.+	NE	10
<i>Tobagogorgia hardyi</i> Sánchez y Acosta de Sánchez, 2004*	NE	26.6 - 76
Familia Keroeidae		
<i>Thelogorgia vossi</i> Bayer, 1991*	CPROF	200 m
Familia Nephtheidae		
<i>Stereonephthya portoricensis</i> (Hargitt, 1901)*	CPROF	20 - 200
Familia Nidaliidae		
<i>Nidalia deichmannae</i> Utinomi, 1954	SW	107
<i>Nidalia dissidens</i> Verseveldt y Bayer, 1988*	CPROF	200
<i>Nidalia occidentalis</i> Gray, 1835*	SW	107 - 160
<i>Nidalia rubripunctata</i> Verseveldt y Bayer, 1988	AMPLIA	20 - 155
<i>Nidalia</i> sp.	NE	50 - 70
<i>Siphonogorgia agassizii</i> (Deichmann, 1936)	SW	107
Familia Plexauridae		
<i>Astrogorgia</i> sp.	NE	73 - 152
<i>Calliacis nutans</i> Duchassaing y Michelotti, 1864	CPROF	98 - 160
<i>Eunicea</i> sp.+	NE	10
<i>Hypnogorgia pendula</i> Duchassaing y Michelotti, 1864*	CPROF	160
<i>Lytreaia plana</i> (Deichmann, 1936)	CPROF	98
<i>Muricea elongata</i> (Lamouroux, 1821)+	NE	35
<i>Paracis</i> sp.	AMPLIA	50 - 160
<i>Placogorgia atlantica</i> Wright y Studer, 1889*	NE	72.3 - 200
<i>Placogorgia tenuis</i> (Verrill, 1883)*	CPROF	155 - 200
<i>Scleracis guadalupensis</i> Duchassaing y Michelotti, 1860*	CPROF	113 - 200
<i>Scleracis pumila</i> Reiss, 1919	CPROF	113 - 160
<i>Scleracis</i> sp.	AMPLIA	50 - 127
<i>Swiftia exserta</i> Duchassaing y Michelotti, 1864*	AMPLIA	20 - 70
<i>Thesea bicolor</i> Deichmann, 1936	NE	70
<i>Thesea parviflora</i> Deichmann, 1936	NE	20 - 300
<i>Thesea solitaria</i> Pourtalès, 1868	CPROF	200

## Continuación Anexo 2.

Taxón	Distribución geográfica	Rango batimétrico (m)
<i>Thesea</i> sp.	NE	20 - 154
<i>Villogorgia nigrescens</i> Duchassaing y Michelotti, 1860*	CPROF	200
<i>Villogorgia</i> sp.*	NE	300
Familia Primnoidae		
<i>Callogorgia</i> sp.*	CPROF	200
Orden Pennatulacea		
Familia Kophobelemnidae		
<i>Sclerobelemnon theseus</i> Bayer, 1959	AMPLIA	20 - 153
Familia Renillidae		
<i>Renilla muelleri</i> Kölliker, 1872	NE	10 - 76
<i>Renilla reniformis</i> (Pallas, 1766)	AMPLIA	10 - 70.4
Familia Virgulariidae		
<i>Acanthoptilum</i> sp.	AMPLIA	50 - 151
<i>Stylatula diadema</i> Bayer, 1959 ●	SW	20
Orden Leptothecata		
Familia Aglaopheniidae		
<i>Aglaophenia elongata</i> Meneghini, 1845	NE	20 - 70
<i>Aglaophenia latecarinata</i> Allman, 1877*	NE	20 - 150
<i>Aglaophenia lophocarpa</i> Allman, 1877*	SW	70
<i>Aglaophenia rhynchocarpa</i> Allman, 1877	NE	70
<i>Aglaophenia tridentata</i> Versluys, 1899*	NE	70
<i>Macrorhynchia allmani</i> (Nutting, 1900)	AMPLIA	70 - 304
Familia Lafoeidae		
<i>Acryptolaria conferta</i> (Allman, 1877)*	NE	200
<i>Lafoea dumosa</i> (Fleming, 1820)*	NE	450
Familia Plumularia		
<i>Plumularia habereri</i> Stechow, 1909	NE	70 - 154
<i>Plumularia pulchella</i> Bale, 1882	NE	20
<i>Plumularia</i> sp. <sup>1</sup>	NE	314 - 454
<i>Plumularia</i> sp. <sup>2</sup>	NE	298 - 464
<i>Plumularia</i> sp. <sup>3</sup>	AMPLIA	20 - 158

## MOLUSCOS DE LA PLATAFORMA Y TALUD SUPERIOR DEL CARIBE COLOMBIANO (20-940 m): 12 AÑOS DE INVESTIGACIÓN

### RESULTADOS Y PERSPECTIVAS

María Adriana Gracia Clavijo<sup>1</sup> y Néstor E. Ardila Espitia<sup>2</sup>

1. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - Invemar, Programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos, Museo de Historia Natural Marina de Colombia, Cerro de Punta Betín, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: agracia@invemar.org.co

2. Universidad de Los Andes, Departamento de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Biología Molecular Marina, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: ne.ardila23@uniandes.edu.co

**Figura separador:** *Octopus vulgaris*. Detalle de las ventosas. Macrofauna II. E100, recolectado frente a Dibulla a 150 m de profundidad.



## RESUMEN

Este documento recopila la información taxonómica y ecológica sobre el Phylum Mollusca a lo largo de 12 años de estudios realizados en el Caribe colombiano. El material investigado proviene de 160 estaciones localizadas en la plataforma y talud superior, entre 20 y 940 m de profundidad. Se identificó un total de 619 especies, pertenecientes a 317 géneros, 122 familias, 23 órdenes y cinco clases. De estas especies, el 33% se encuentra presente en una sola estación. Basados en el ámbito batimétrico y el tipo de substrato, fueron identificados tres grupos diferentes de moluscos: 1. De aguas someras de la plataforma continental (20-190 m de profundidad), 2. Fondos mixtos del quiebre de la plataforma (200 m), y 3. Talud superior en adelante (300-940 m). Otros substratos, como restos de madera y conchas, fueron usados activamente por los moluscos, incrementando su riqueza en algunas localidades profundas. Interesantemente, algunos bivalvos de los géneros *Vesicomya* y *Calyptogena* fueron encontrados aproximadamente a 500 m de profundidad, sugiriendo la presencia de ambientes reductores en el Caribe colombiano. Un alto número de primeros registros (16,5%) y más de 11 nuevas especies para la ciencia son evidencia de la poca información que se tenía y la importancia de estos estudios en el conocimiento de la diversidad marina en Colombia. Aunque queda mucho por explorar, esperamos que esta sea la base sobre la que puedan ser construidos futuros estudios.

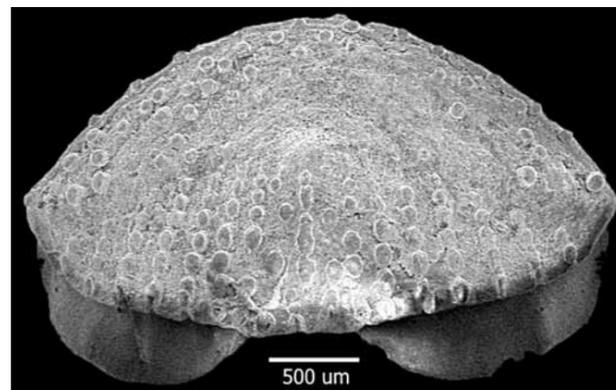
**Palabras clave:** Moluscos, Caribe colombiano, Estudios de biodiversidad.

## ABSTRACT

This review compiles the taxonomic and ecological information on the Phylum Mollusca along 12 years of studies in the Colombian Caribbean. A systematic survey was performed on 160 stations located in the con-

tinental shelf and upper slope between 20 and 940 m depth. A total of 619 species were identified, comprising 317 genera, 122 families, 23 orders and five classes. Most of the species were present in a single station (33%). Based on the bathymetric range and substrate type, three different groups of mollusks were identified: 1. Shallow areas on the continental shelf (20-190 m depth), 2. Mixed bottoms at the continental shelf break (200 m depth), and 3. Upper slope and beyond (300 to 940 m depth). Other substrates, such as sunken wood and seashells, were actively used by mollusks, increasing their biodiversity at some deep locations. Interestingly, bivalves of the genera *Vesicomya* and *Calyptogena*, were found approximately at 500 depth, suggesting the presence of seep communities in the Colombian Caribbean. A high number of first records (16.5%) and the description of more than 11 new species highlights the previously poor knowledge, and the importance of these surveys, on the understanding of marine biodiversity in Colombia. Although there is still much to be explored in the Colombian deep-sea waters, we hope that this review will be the base on which future studies can be constructed.

**Key words:** Mollusks, Colombian Caribbean, Biodiversity surveys.



**Figura 1.** Detalle de la ornamentación del quitón *Chaetopleura apiculata*. SEM valva anal, recolectado en el proyecto Macrofauna II frente a Manaure a 22 m de profundidad.

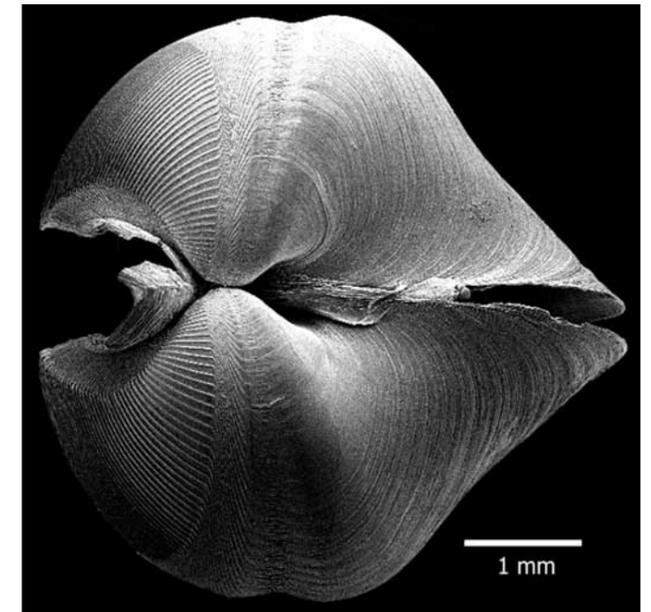
## INTRODUCCIÓN

La fauna presente en los fondos blandos del mar profundo es similar a la de aguas someras en cuanto a su composición taxonómica en altos niveles jerárquicos, ej. Phylum, Clase y Orden (Thistle 2003). Es así como los organismos más importantes de la megafauna (animales visibles) son peces demersales, pepinos, estrellas de mar, estrellas quebradizas y anémonas. De otra parte, la macrofauna (animales retenidos por un tamiz de 0,5 mm) está compuesta principalmente por poliquetos, moluscos bivalvos, crustáceos isópodos, anfípodos y tanaidáceos (Thistle 2003).

El papel que desempeña la macrofauna presente en los sedimentos marinos es muy importante en todos los procesos del ecosistema, tales como su función en el ciclo de nutrientes y la producción secundaria. Sin embargo, sólo una pequeña fracción de la fauna bentónica ha sido caracterizada y descrita taxonómicamente, siendo probable que ante la evidente degradación de los ecosistemas marinos, muchas especies estén desapareciendo antes de tener conocimiento de su existencia (Ellingsen 2002).

De los grupos que conforman la macrofauna bentónica, uno de los que se destaca por su diversidad y abundancia son los moluscos. Estos organismos ocupan la mayoría de los nichos ecológicos debido a su extrema diversificación trófica y etológica incluyendo áreas de aguas profundas y ecosistemas extremos (Absalão *et al.* 2006). Por lo tanto, el conocimiento básico de su riqueza y el posterior análisis de sus ensamblajes en el bentos puede contribuir a un mejor entendimiento de la estructura y las interacciones de ensamblajes más complejos, dentro los cuales viven e interactúan con otros organismos del fondo (Troncoso y Aldea 2008).

El mar Caribe tiene aproximadamente 2640000 km<sup>2</sup> (Lutz y Ginsburg 2007) y presenta vastas zonas con profundidades más allá de los 7500 m. No obstante, de esta extensa área se conoce muy poco acerca de la compo-



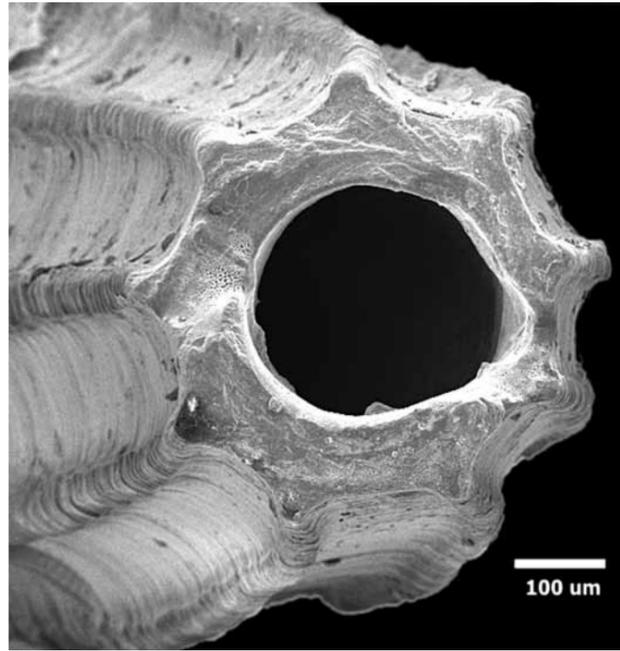
**Figura 2.** Bivalvo del género *Xylophaga*, recolectado por el proyecto Macrofauna II frente a Buritaca a 498 m de profundidad, encontrada asociada a restos de material vegetal.

sición y el funcionamiento de las comunidades bentónicas de aguas profundas, en particular de la malacofauna en el Caribe suroccidental.

## Definición del grupo

Con cerca de 200000 especies vivientes y alrededor de 70000 especies fósiles descritas, los moluscos ocupan el segundo lugar entre los grupos más diversos del Reino Animal, superados en número solo por los artrópodos (Absalão *et al.* 2006, Ponder y Lindberg 2008), al mismo tiempo son uno de los más diversos con ocho clases de organismos vivos y al menos dos clases extintas (Ponder y Lindberg 2008).

Las clases que comprenden el Phylum son **Solenogastres**: animales con una suela, estrecha y ciliada, situada en un surco (pliegue ventral o pie), en el que se arrastran; **Caudofoveata**: pequeño grupo de moluscos en los cuales el surco ventral y el pie se encuentran ausentes; **Monoplacophora**: lapas de aguas profundas con concha simple y repetición serial de algunos órganos; **Poly-**



**Figura 3.** Detalle SEM del ápice del escafópodo *Dentalium laqueatum*, recolectado en el proyecto Macrofauna II frente a Bahía Concha a 150 m de profundidad.

**placophora:** caracterizados por presentar ochos placas rodeadas por un cinturón (Figura 1); **Bivalvia:** organismos con dos valvas que se articulan dorsalmente (Figura 2); **Scaphopoda:** organismos con forma de colmillo cuya concha se encuentra abierta en ambos extremos (Figura 3); **Cephalopoda:** ejemplares tanto con concha simple con cámaras o ausente y cuyo cuerpo está compuesto principalmente por una cabeza rodeada por brazos (Figura 4); y **Gastropoda:** organismos que presentan una sola concha (usualmente con torsión), presencia de opérculo en estado larval y en algunos adultos, y torsión durante su desarrollo (Figura 5). Las clases extintas comprenden a **Rostroconchia** e **Hiolitha**.

De las clases recientes, las cinco últimas han sido registradas para aguas colombianas. No obstante, caracterizaciones infaunales llevadas a cabo en fondos blandos someros y profundos del Caribe colombiano (entre 10 y 500 m), han evidenciado la presencia de la clase Caudofoveata (comunicación personal L.C. Gámez 2009 - In-venmar).

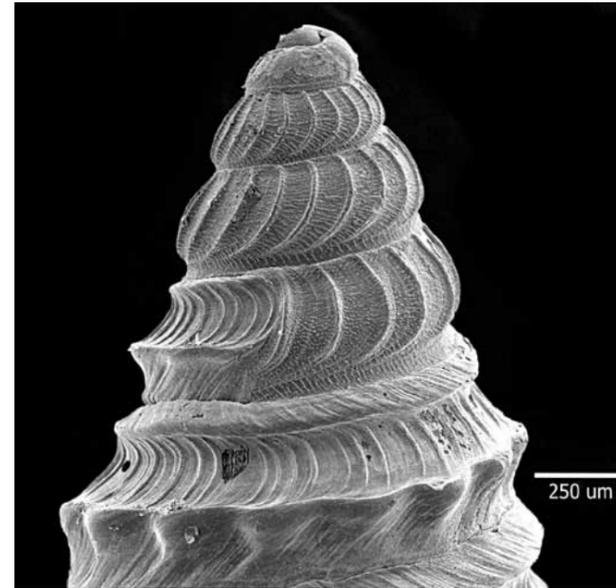
### Antecedentes generales en Colombia

Inicialmente las exploraciones dirigidas al conocimiento de la malacofauna marina del Caribe fueron realizadas por científicos extranjeros quienes dentro de sus investigaciones exploraron algunos sectores de la plataforma continental colombiana con mayor énfasis entre los años 1960 y 1970. La mayoría de estas expediciones fueron hechas a bordo de barcos como el *R/V Pillsbury* y *R/V Oregon* (Anexo 1). En dichos cruceros, la mayor parte de los moluscos fueron recolectados en estaciones localizadas alrededor del Golfo de Urabá. Entre las numerosas publicaciones, se destacan las de Boss (1967) y Bayer (1971) pues incluyen la descripción de especies, que hasta el momento, siguen siendo consideradas como endémicas para Colombia.

Hasta el año 1999, cuando fueron iniciadas las expediciones Macrofauna, se contaba con valiosa información restringida a estudios regionales o locales de la fauna de moluscos en el Caribe colombiano. A continuación se describen de suroccidente a nororiente, algunas de las referencias más importantes. Entre el Golfo de Urabá y la desembocadura del río Sinú, se destacan los listados de Werding y Manjarrés (1978) y Flórez (1994); los primeros realizaron el inventario de los moluscos en el Golfo de Urabá, entre los 40 y 50 m de profundidad,



**Figura 4.** Cefalópodo del género *Semirossia*, recolectado en el proyecto ANH I frente al Golfo de Morrosquillo a 500 m de profundidad.



**Figura 5.** Protoconcha del gástrópodo túrrido del género *Dri-lliola*, recolectado en el proyecto Macrofauna I frente a Nen-guange a 296 m de profundidad.

mientras que el segundo estudio trató la tanatocenosis de moluscos depositados en los fondos blandos (13-1965 m de profundidad) de la plataforma y el talud continental entre Punta Canoas y Punta Caribaná. García-Valencia y Díaz (2000) estudiaron la malacofauna desde la desembocadura del río Sinú hasta Punta Caribaná, entre 10 y 50 m de profundidad.

Para la plataforma entre Cartagena y Bocas de Ceniza se conocen los trabajos de Quintero (1982) de 11 a 245 m de profundidad, y Rodríguez (1983) sobre la tanatocenosis de micromoluscos actuales encontrados entre los 13 y 261 m de profundidad.

De Bocas de Ceniza hasta Punta Gloria, en el área conocida como Golfo de Salamanca, el interés exploratorio ha estado dirigido a los recursos pesqueros (Blanco 1994). Desde el punto de vista malacológico y análisis de comunidades se conocen los trabajos de García y Sandoval (1983), Arango (1996), Córdoba (1997) y López (1997). Estos últimos se concentran en las diferentes comunidades de fondos blandos someros de la ensenada de Pozos Colorados, entre 5 y 70 m de profundidad.

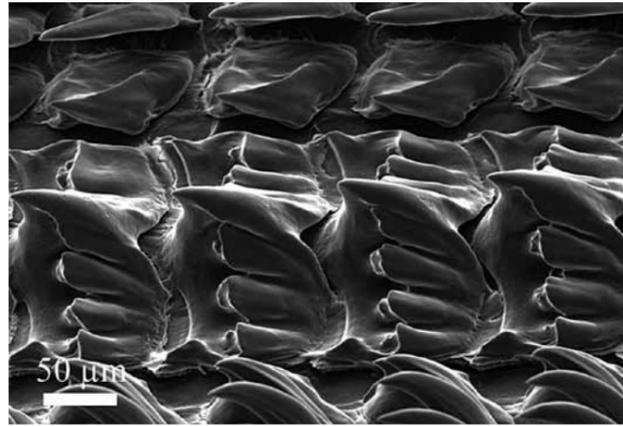
Hacia el nororiente, en La Guajira, Puyana (1992) realizó una caracterización comparativa de la malacofauna marina de la Península con otras áreas del Caribe, con énfasis en la clase Gastropoda. Posteriormente, Guzmán-Alvis y Solano (1997) determinaron la estructura de la taxocenosis Annelida-Mollusca de Dibulla al río Palomino entre 6 y 21 m de profundidad. Recientemente Fontalvo (2006) estudió la composición y abundancia de este grupo a 10 y 50 m de profundidad en todo el departamento.

La primera gran síntesis de los estudios realizados sobre moluscos del Caribe colombiano fue llevada a cabo por Díaz y Puyana (1994), documentando la distribución y ecología de 1086 especies. Posteriormente, Díaz *et al.* (1998) estimaron un número mayor a 1403 especies de moluscos marinos recientes para este sector de Colombia.

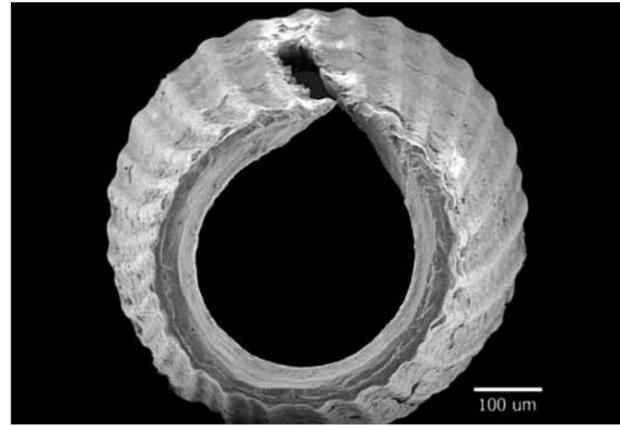
En cuanto a especies someras Díaz (1995) realizó un significativo aporte a la zoogeografía, concluyendo que la distribución de especies de moluscos presentes entre el sur de Centroamérica y el norte de Suramérica exhibe tendencias definidas, explicadas como una combinación de la historia geológica, dispersión y factores ambientales.

## MÉTODOS

La identificación del material colectado en las expediciones Macrofauna I, II y ANH I se llevó a cabo siguiendo la misma metodología (actualmente la fase de ANH II se encuentra en desarrollo y solo se incluyen algunos registros). Ésta se basó principalmente en la anatomía externa de los organismos y en algunos casos en observaciones de la rádula y detalle de estructuras por medio de Microscopio Electrónico de Barrido SEM (por sus siglas en inglés) (ej. Figuras 6 y 7) y morfología interna. Así mismo, en la mayoría de los casos se corroboró la identificación por comparación con material tipo y referencia consultado en las principales colecciones



**Figura 6.** Detalle SEM de la rádula del nudibranquio *Armina muelleri*, recolectado en el proyecto Macrofauna II frente a isla de Salamanca a 20 m de profundidad.



**Figura 7.** Detalle SEM del ápice del colmillo de mar *Graptacme eborea*, recolectado en el proyecto Macrofauna II frente a Manaure a 22 m de profundidad.

biológicas, tales como el Museo de Historia Natural del Instituto Smithsonian en Washington y el Museo de Historia Natural de Nueva York, entre otros. Dentro del material identificado se contempló tanto organismos completos como conchas vacías que estuvieran en buen estado de conservación.

El orden sistemático adoptado siguió lo propuesto en Beesley *et al.* (1998) y Bouchet y Rocroi (2005) para gasterópodos; Coan *et al.* (2000) para bivalvos; Steiner y Kambat (2001) para escafópodos y Young *et al.* (2010) para cefalópodos; además se recurrió a literatura general como Dall (1881, 1886, 1889), Keen (1971), Abbott (1974), Okutani (1983), Petuch (1987), Sweeney *et al.* (1992), Díaz y Puyana (1994), Rios (1994) y Mikkelsen y Bieler (2008), entre otros, así como literatura específica para los diversos grupos. El material se encuentra depositado en la colección de Moluscos del Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC) y algunos lotes en otras colecciones como el Museo de Los Ángeles, el Museo de Historia Natural del Instituto Smithsonian y el Museo de São Paulo (Brasil).

Los ejemplares estudiados fueron recolectados en las expediciones Macrofauna I, II y ANH I (Anexo 3), me-

dante barridos del fondo marino con redes de arrastre. Se estudiaron además los moluscos recolectados por la expedición Marcoral (2005-2006) mediante dragados (Figura 8) efectuados en comunidades coralinas de profundidad en el área adyacente al Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo (Reyes *et al.* 2006). El listado de especies recolectadas en esta última expedición aún no ha sido publicado. En la introducción de este libro (Figura 1) se ilustran las estaciones realizadas en los proyectos mencionados.

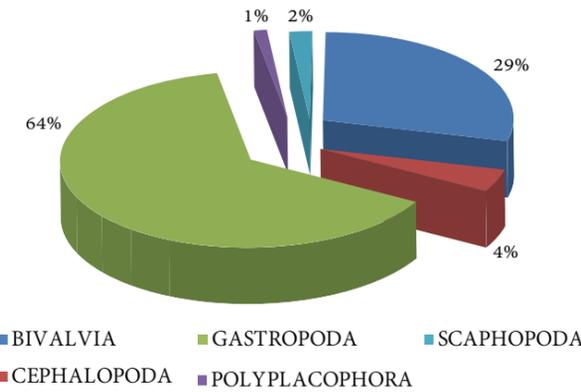


**Figura 8.** Conchas de moluscos gasterópodos recolectados con draga Van Veen, correspondientes a las familias Nassariidae, Muricidae y Turridae entre otros.

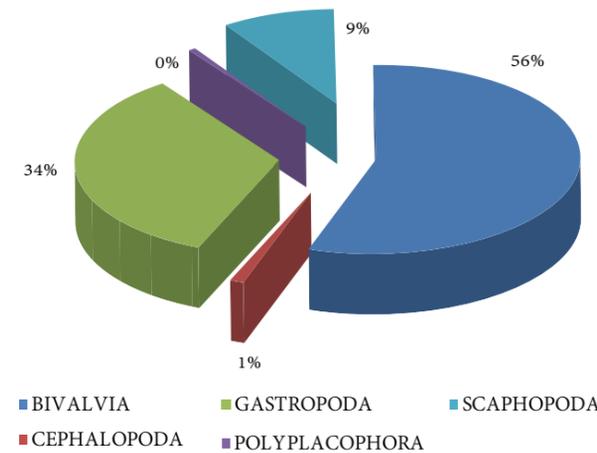
## RESULTADOS

En total se encontraron cinco clases, 23 órdenes/clados, 122 familias, 317 géneros y 619 especies. En la tabla 1 se presenta el número de especies y de ejemplares encontrados para cada uno de los órdenes.

La Clase Gastropoda presentó el mayor número de especies (Figura 9), con un total de 394, de las cuales Sorbeoconcha (290), Vetigastropoda (43) y Opisthobranchia (36) fueron los de mayor riqueza de especies. Mientras que Bivalvia fue la que acumuló el 56% de la abundancia (Figura 10).



**Figura 9.** Riqueza (número de especies) de moluscos en cada una de las clases encontradas en el Caribe colombiano.



**Figura 10.** Abundancia (número de individuos) de moluscos en cada una de las clases encontradas en el Caribe colombiano.

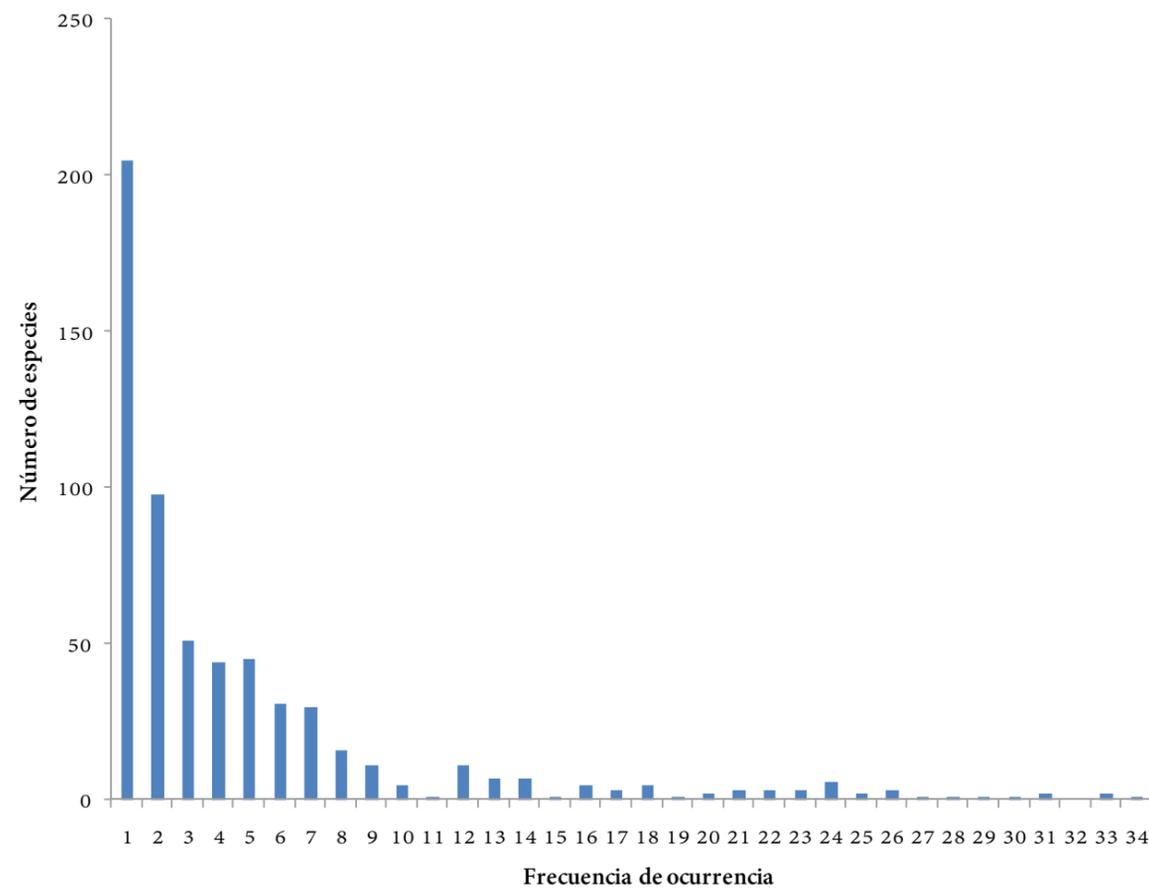
**Tabla 1.** Número de especies (spp.) y abundancia (a) para cada uno de los órdenes encontrados.

Clase	Clado/Orden	spp.	a
Bivalvia	Nuculoida Dall, 1889	21	3197
	Arcoida Stoliczka, 1871	15	10246
	Mytiloida Férussac, 1822	6	76
	Pterioidea Newell, 1965	1	4
	Limoida Waller, 1978	6	72
	Ostreoida Férussac, 1822	11	2123
	Veneroida H. y A. Adams, 1856	85	4166
	Myoida Stolicka, 1870	10	281
	Pholadomyoida Newell, 1965	5	123
	Septibranchia Pelseeneer, 1888	22	379
<b>Total</b>		182	20667
Cephalopoda	Octopoda Leach, 1818	14	43
	Oegopsida Orbigny, 1845	3	8
	Myopsida Naef, 1916	3	150
	Sepioidea Naef, 1916	4	130
<b>Total</b>		24	331
Gastropoda	Patellogastropoda Lindberg, 1986	1	30
	Superorden "Cocculiniformia" Haszprunar, 1987	13	371
	Superorden Vetigastropoda Salvini-Plawen, 1980	43	1328
	Sorbeoconcha Ponder y Lindberg, 1997	290	9420
	Posición incierta Superorden Heterobranchia Gray, 1840	12	65
	Opisthobranchia Milne-Edwards, 1848	36	1145
	<b>Total</b>		394
Polyplacophora	Neoloricata Bergenhayn, 1855	5	155
	<b>Total</b>		5
Scaphopoda	Dentaliida da Costa, 1776	7	296
	Gadilida Starobogatov, 1974	7	3037
<b>Total</b>		14	3333

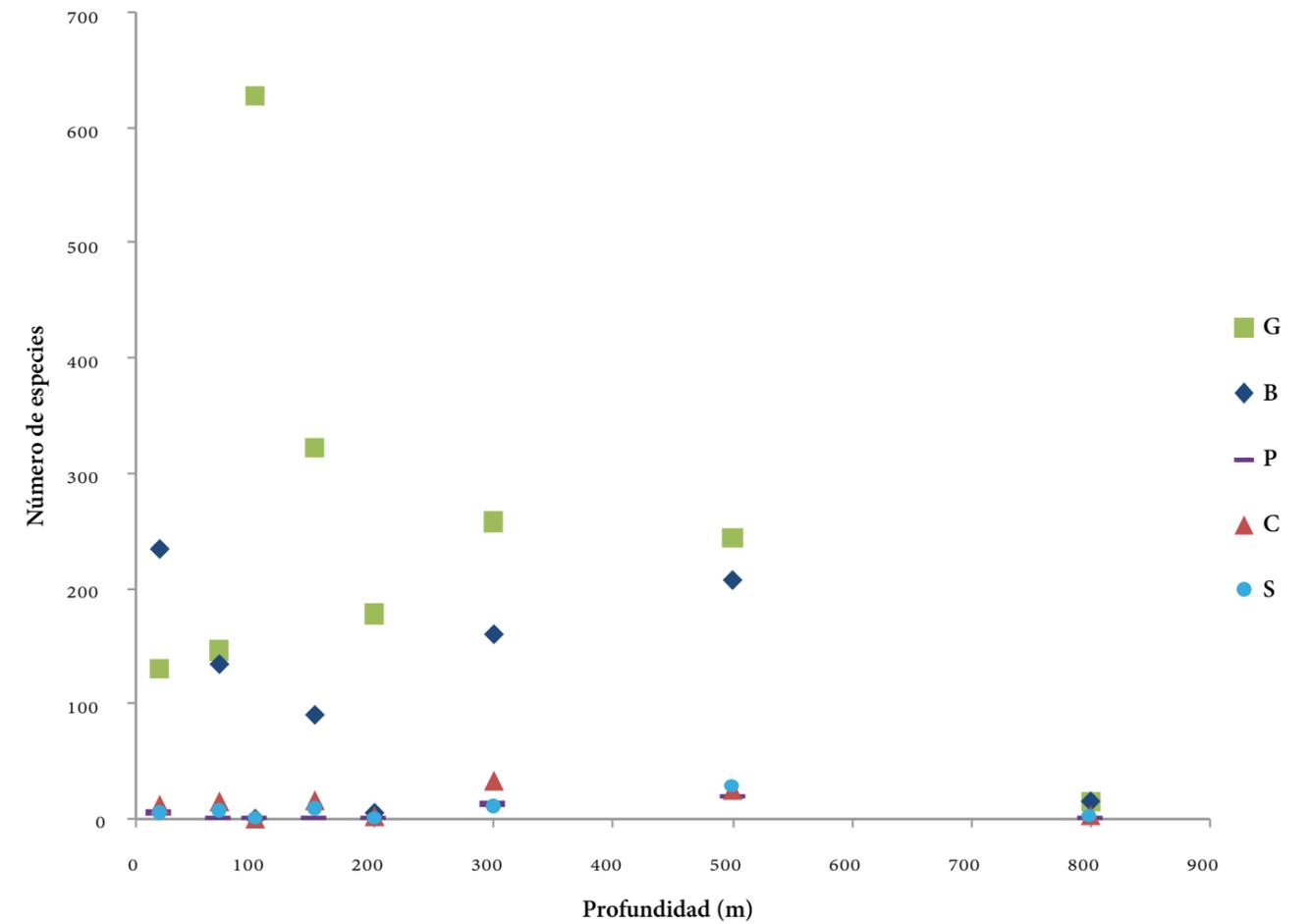
Cabe resaltar que un número importante de especies se encontraron en una sola estación con uno o pocos especímenes (Figura 11). Los datos muestran que en términos de frecuencia de especies por estación de muestreo, un alto número (205 especies) correspondientes al 33% del total identificado, está presente en apenas una estación. Estos resultados son muy similares a lo encontrado en estudios con objetivos semejantes en otras áreas del mundo. Así por ejemplo, en Brasil se encontró que 364 taxones (39%) estuvieron presentes en una sola localidad (Absalão *et al.* 2006), mientras que en Noruega de 809 especies identificadas, 200 (25%) se presentaron en un solo lugar y 158 (20%) especies estuvieron representadas por un solo individuo (Gray 2002, Gray y Elliot 2009).

Es así como nuestros datos apoyan la idea de que los patrones de riqueza de especies son altamente dependientes de las especies raras, y que tanto la equitabilidad como la riqueza de taxones son determinantes en la estimación de la diversidad malacológica de una región (Absalão *et al.* 2006). En este mismo contexto Gray y Elliot (2009) proponen que este tipo de datos es típico tanto de datos marinos (característica notable en comunidades de fondos blandos) como terrestres.

Por otra parte, en la figura 12 se observa la frecuencia de aparición de cada una de las clases en las diferentes profundidades de muestreo, donde Gastropoda y Bivalvia se destacan por ser los grupos con mayores frecuencias, principalmente en aguas someras.



**Figura 11.** Número de estaciones ocupadas por las diferentes especies de moluscos recolectadas en los fondos blandos de la plataforma y talud superior del Caribe colombiano.



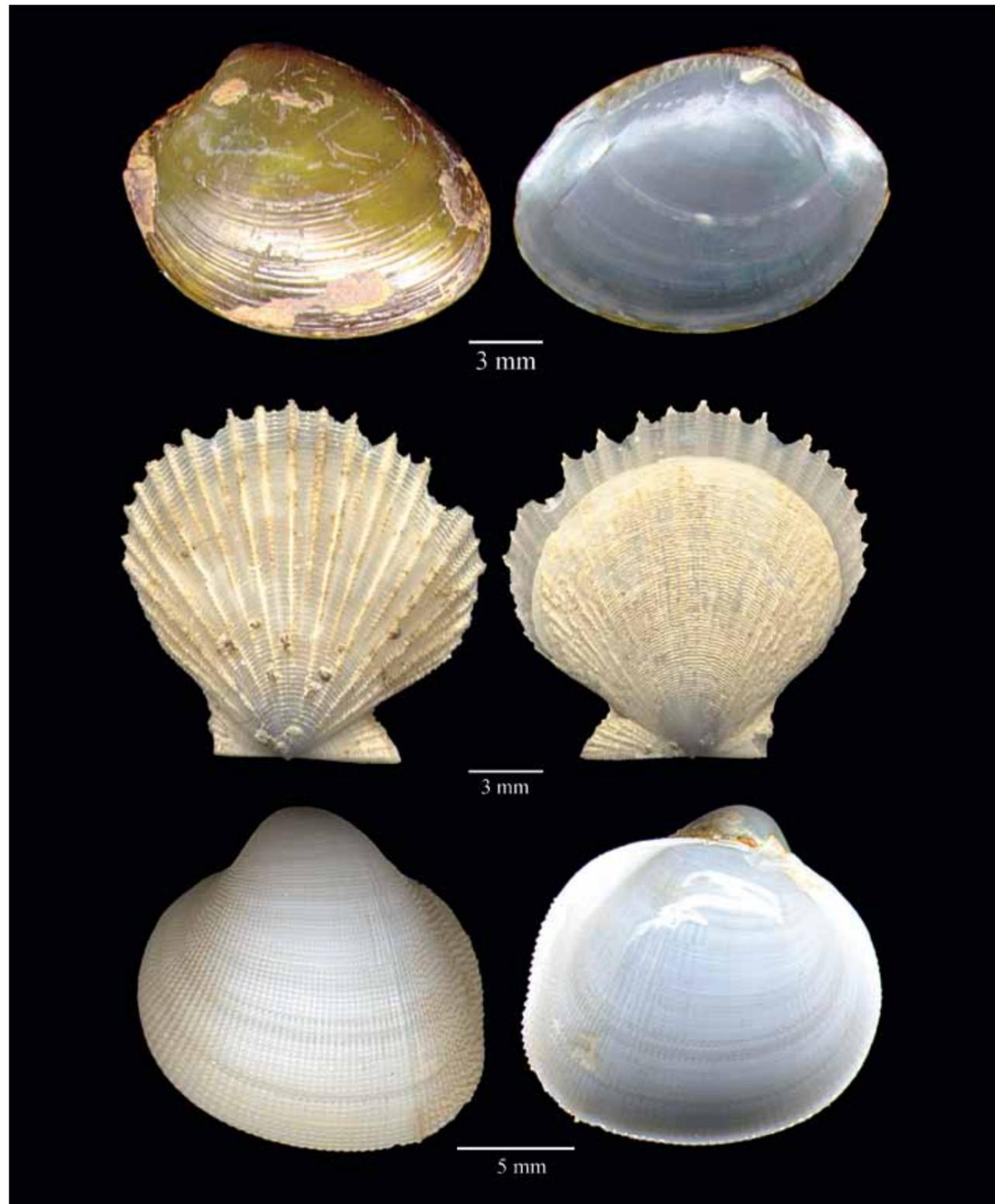
**Figura 12.** Frecuencia de aparición de cada uno de los grupos (G=Gastropoda, B=Bivalvia, P= Polyplacophora, C= Cephalopoda, S= Scaphopoda) en las diferentes profundidades de muestreo.

### Primeros registros

En total y sumando lo presentado en este capítulo, se han registrado por primera vez para el Caribe colombiano 102 especies. La mayor parte corresponde a la clase Gastropoda en el ámbito de los 20 a 940 m de profundidad, número que podría aumentar teniendo en cuenta que para Bivalvia aún existen muchos vacíos de información (Anexo 2) y especies por corroborar.

Como nuevos aportes de este documento para la clase Bivalvia, se registran por primera vez especies como *Nucula semiornata*, *N. tenuis*, *N. puelcha* (Figura 13), *Orthoyoldia scapania*, *Portlandia nigromaculata*, *Neilo*

*dilatata*, *Bathyarca glomerula*, *Limopsis sulcata*, *Idasola argentea*, *Parvamussium sayanum* (Figura 13), *Myrtea lens*, *Nemocardium peramabile* (Figura 13), *Poromya margarita*, *Cuspidaria fraterna*, *C. media*, *Cardiomya perrostrata*, *Myonera paucistriata*, *Haliris fischeriana*, *Euciroa grandis*, *Lyonsiella cordata* y *Parvamussium cancellatum*, así mismo el segundo registro que se hace de especies raras, pocas veces recolectadas y que posiblemente son especies endémicas de Colombia como *Ectenagena modioliforma*, *Conchocele bisecta* y *Vesicomya cordata*. Para Cephalopoda se confirma por primera vez para el mar Caribe colombiano la presencia de *Liocranchia reinhardtii*, *Abralia veranyi* y *Ornithoteuthis antillarum*. Por su parte para gastrópodos son



**Figura 13.** Vista dorsal y ventral de los bivalvos, de superior a inferior, *Nucula puelcha*, *Parvamussium sayanun* y *Nemocardium peramabile* recolectados en el proyecto Macrofauna I.



**Figura 14.** *Gaza compta*, recolectada en el proyecto ANH II frente a Manaure a 940 m de profundidad.

identificados por primera vez *Leucosyrinx subgrundifera*, *Calliotropis globosa*, *Hadroconus altus*, *Gaza compta* (Figura 14) y *Volutomitra persephone* encontrados en el proyecto ANH II. En el anexo 3 se destacan con asterisco (\*) los primeros registros de los proyectos Macrofauna I, II y ANH I.

Con relación a lo anteriormente publicado para gastrópodos (en profundidades superiores de 300 m) se registraron 48 especies para aguas colombianas, 18 de ellas desconocidas en el mar Caribe. De las familias encontradas, Turridae fue la más numerosa en primeros registros (Gracia *et al.* 2004). En el ámbito de los 20 a 150 m de profundidad algunos de los registros corresponden a los gastrópodos *Armina muelleri*, *Pleurobranchus areolatus*, *Pleurobranchaea inconspicua*, *Hypselodoris bayeri* (Figura 15), *Marionia cucullata*, *Typhis cf. jardinreinensis* y *Glyphostoma cf. rioensis* (Rachello 2003).

En el caso de los cefalópodos, donde se encontraron siete especies de aguas profundas entre 200 y 500 m de profundidad, fueron registradas por primera vez para el área *Semirossia tenera*, *S. equalis*, *Heteroteuthis dispar*, *Opisthoteuthis agassizii* (Figura 16), *Octopus burryi* y *Benthoctopus oregonae*. De las especies anteriores *S. tenera* fue considerada la especie más frecuente y abundante. En



**Figura 15.** *Hypselodoris bayeri*. Foto cortesía proyecto BEM-Chuchupa recolectado en la plataforma somera del departamento de La Guajira.



**Figura 16.** Vista ventral de cefalópodo *Opisthoteuthis agassizii* recolectado en el proyecto ANH I, frente a Bahía Portete a 750 m de profundidad.

el grupo de los quitones, en las zonas someras se registró por primera vez a *Lepidochitona rosea* (Rachello 2003).

Con relación a los escafópodos de las 12 especies encontradas (Anexo 3), seis fueron registradas por primera vez para el Caribe sur (Gracia *et al.* 2005).

Es importante resaltar que con la confirmación de la presencia de muchas de estas especies se ampliaron no solamente sus ámbitos geográficos, sino que también se extendieron ampliamente sus ámbitos conocidos de profundidad.

Con respecto a lo previamente registrado por Díaz y Puyana hasta 1994, estos registros representan un au-

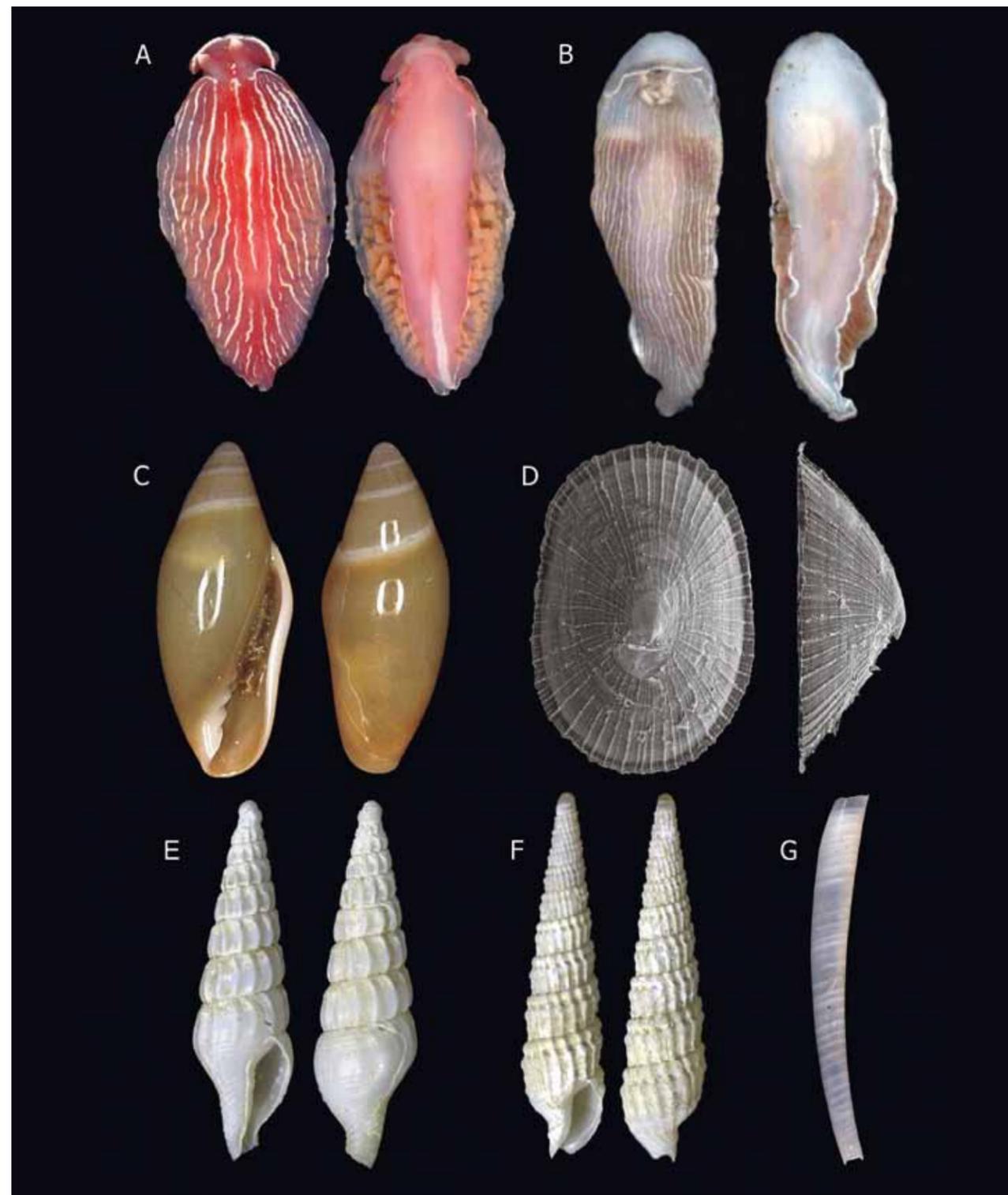
mento del 9,4% en el número de especies conocidas de la malacofauna del Caribe colombiano.

### Nuevas especies

Hasta la fecha han sido descritas 11 nuevas especies con el material recolectado en estas expediciones (Figura 17). Incluyendo nueve especies de gastrópodos, un bivalvo y un escafópodo. En la tabla 2 se presenta información detallada sobre la localidad tipo y profundidad de cada una de ellas. Adicionalmente, por observaciones de los autores se conoce de otros gastrópodos y bivalvos que podrían llegar a ser descritos como nuevas especies. Actualmente se están realizando más análisis para confirmar estos hallazgos.

**Tabla 2.** Nuevas especies de moluscos descritas en el marco de los proyectos Macrofauna (I, II) y Marcoral, llevados a cabo en el Caribe colombiano.

Clase	Especies	Localidades	Prof. (m)
	<i>Armina juliana</i> Ardila y Díaz, 2002	Norte del Caribe colombiano, frente a Palomino y el Cabo de la Vela.	310-460 m
	<i>Armina elongata</i> Ardila y Valdés, 2004	Centro del Caribe colombiano, frente a Isla de Salamanca.	20 m
	<i>Volvarina bayeri</i> Gracia y Boyer, 2004	Norte del Caribe colombiano, frente a Bahía Honda, en la Península de La Guajira.	493 m
	<i>Thatcherina diazi</i> Gracia y Vera-Peláez, 2004	Norte del Caribe colombiano, frente a Palomino, en la Península de La Guajira.	496-502 m
Gastropoda	<i>Cocculina fenestrata</i> Ardila y Harasewych, 2005	Norte del Caribe colombiano, frente a Buritaca en Palomino.	504 m
	<i>Copulabyssia colombia</i> Ardila y Harasewych, 2005	Norte del Caribe colombiano, frente a Buritaca en Palomino.	300 m
	<i>Terebra colombiensis</i> Simone y Gracia, 2006	Norte del Caribe colombiano, desde Dibulla hasta Bocas de Ceniza.	150-314 m
	<i>Terebra sterigmoides</i> Simone y Gracia, 2006	Al norte, frente a Manaure (La Guajira) y más hacia el sur frente a las islas de San Bernardo.	21-102 m
	<i>Suturoglypta procera</i> Simone y Gracia, 2006	Sur del Caribe colombiano, frente a las Islas de San Bernardo y el Golfo de Morrosquillo.	514-520 m
Bivalvia	<i>Spinospella agnes</i> Simone y Cuhna, 2008	A lo largo de todo el Caribe colombiano, desde Bahía Honda (La Guajira) hasta la Ensenada de La Rada.	280-510 m
Scaphopoda	<i>Striocadulus magdalenensis</i> Gracia y Ardila, 2009	Parte central del Caribe colombiano, frente a Bocas de Ceniza.	404-412 m



**Figura 17.** Algunas de las nuevas especies descritas para el Caribe colombiano. A. *Armina juliana* Holotipo 41 mm de largo. B. *Armina elongata* Holotipo 16 mm de largo. C. *Volvarina bayeri* Holotipo 12,98 mm de largo. D. *Cocculina fenestrata* Holotipo 3,3 mm de largo. E. *Suturoglypta procera*, Holotipo 15,71 mm de largo. F. *Terebra colombiensis* Paratipo 10,96 mm de largo. G. *Striocadulus magdalenensis*, Paratipo 21,74 mm longitud total.

## Agrupamientos por profundidad

De acuerdo a las especies y abundancias encontradas se postula la presencia de tres grupos faunísticos segregados batimétricamente: 1. Plataforma somera, entre 20 y 190 m de profundidad; 2. Fondos mixtos (blandos y duros), alrededor de los 200 m; y finalmente, 3. Talud superior, comprendido entre los 300 y 940 m de profundidad.

**1. Plataforma somera:** Entre los 20 y 190 m. Comprende parte de las estaciones muestreadas por los proyectos Macrofauna II y Marcoral. Para estas profundidades se llevaron a cabo 69 arrastres de fondo en 35 estaciones en el año 2001 y 31 dragados en igual número de estaciones en el año 2005. Se identificó y cuantificó un total de 16005 individuos hasta el nivel de especie, encontrándose un total de 454. Las que presentaron la mayor frecuencia fueron *Olivella myrmecoön* (39%), *Polystira albida* (38%), *Arene variabilis*, *Cosmioconcha nitens* y *Granulina ovuliformis* con un 33% respectivamente.

La clase Gastropoda presentó el mayor número de especies, con un 65%, seguida por la clase Bivalvia con un 29%. En cuanto a la abundancia, los gastrópodos fueron los más numerosos, con un 53%, seguido por los bivalvos con un 45%.

**2. Fondos mixtos:** alrededor de 200 m de profundidad. Se llevaron a cabo cuatro arrastres de fondo en dos estaciones en el año 2001, un arrastre de fondo (ANH I) y ocho dragados en el año 2005 (Marcoral). Se identificó y cuantificó un total de 1060 individuos hasta el nivel de especie, encontrándose un total de 103. Aquellas que presentaron el mayor porcentaje de frecuencia fueron *Calliostoma* sp. (64%), *Olivella myrmecoön* (55%), *Cosmioconcha nitens* (45%), *Nassarius* sp. (45%) y *Varicopeza crystallina* (45%).

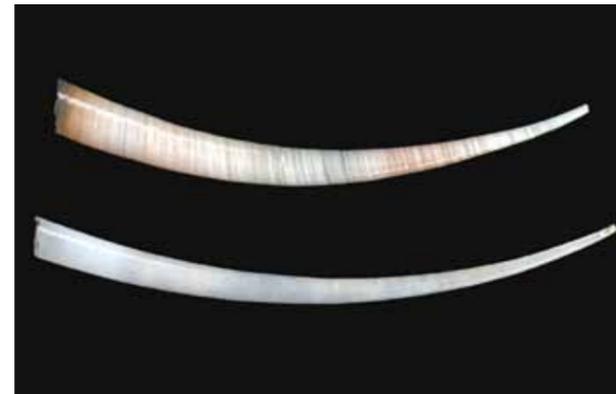
La clase Gastropoda presentó el mayor número de especies, con un 94%, seguida por la clase Bivalvia con un 5%. En cuanto a la abundancia, se repitió este mismo

patrón, gastrópodos con un 94%, seguidos por los bivalvos con un 6%.

Se destaca la información obtenida frente a isla Aguja, que se caracterizó por presentar algunas especies típicas de fondos duros. Las especies encontradas corresponden a *Babelomurex dalli*, *Coralliophila squamosa*, *Discotectonica discus*, *Pseudosimnia vanhyningi*, *Sthenorhytis pernobilis* (Figura 18) *Cocculina* spp., *Eudolium crosseanum*, *Fusinus lightbourni*, *Laevidentalium callipeplum* (Figura 19), *Limaria* sp., *Nassarius scissuratus* y *Semirossia tenera*. De este sector es importante resaltar la presencia de corales escleractinios. Aparte de los corales también fueron encontradas 102 especies de peces, equinodermos, moluscos, crustáceos y cnidarios que ubicó este sector como uno de los tres bancos de corales azooxantelados profundos del Caribe colombiano (Reyes et al. 2005, Santodomingo et al. 2007).



**Figura 18.** *Sthenorhytis pernobilis*. Recolectado por el proyecto Macrofauna I frente a La Aguja a 200 m de profundidad. 10,60 mm de largo.



**Figura 19.** Vista lateral de *Laevidentalium callipeplum*. Ejemplares recolectados por el proyecto Macrofauna I frente a Bocas de Ceniza a 490 m de profundidad. Se observa la variabilidad en color de los organismos (superior longitud total 66,71 mm; inferior 56,61 mm).



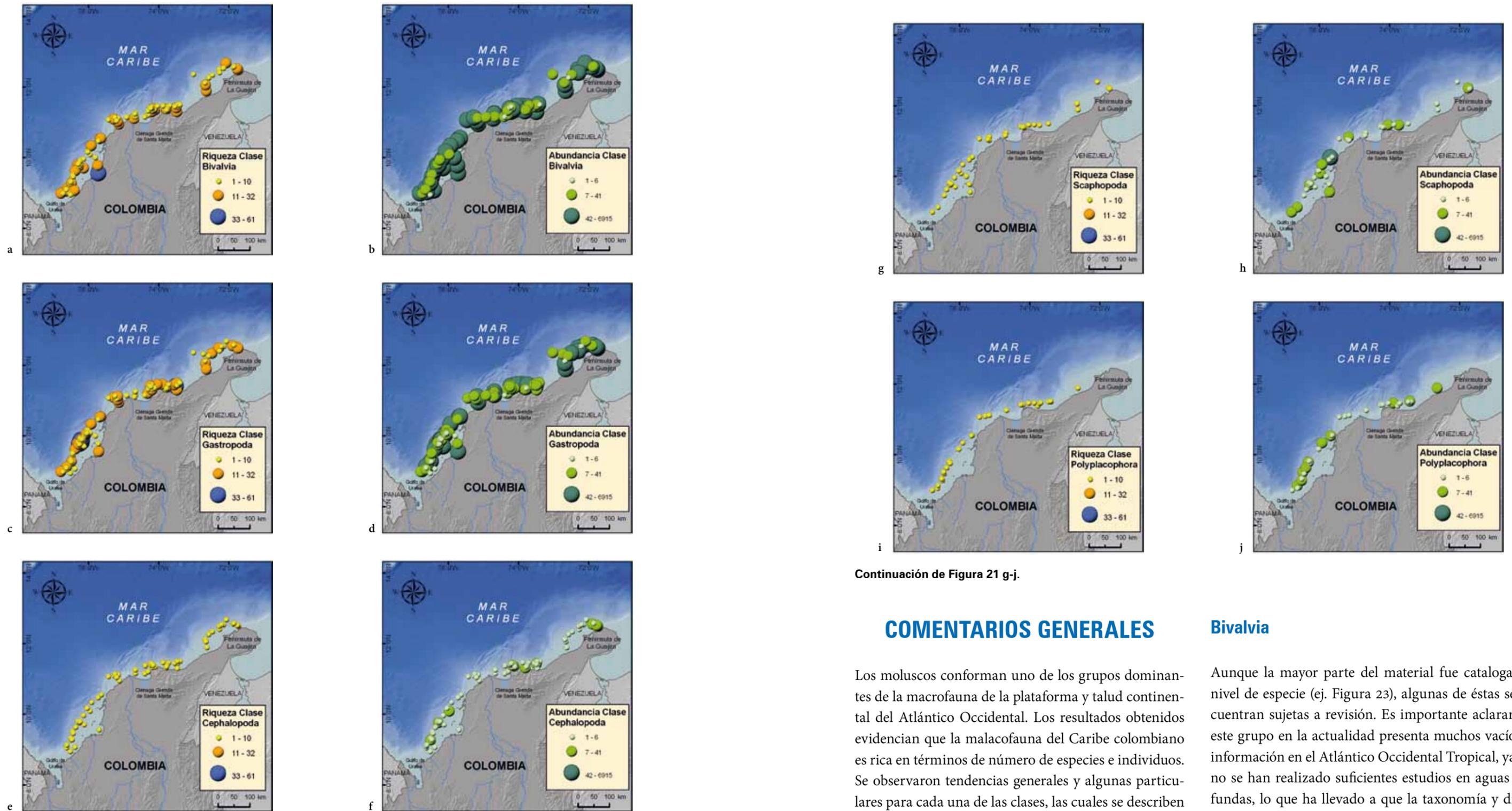
**Figura 20.** Diversos ejemplares del bivalvo *Limopsis sulcata*, recolectados por el proyecto Macrofauna I frente a la Ciénaga Grande de Santa Marta a 474 m de profundidad.

**3. Talud superior:** Entre los 300 y 900 m, se llevaron a cabo 106 arrastres y un dragado, en 60 estaciones. Se identificaron y cuantificaron 19783 individuos, encontrándose un total de 226 especies. Las que presentaron el mayor porcentaje de frecuencia fueron *Leptochiton binghami* (50%), *Limopsis sulcata* (43%) (Figura 20), *Xenophora longleyi* (43%), *Abra longicallis* (42%), *Fulgurofusus brayi* (40%), *Propeamussium dalli* (40%), *Scaphander watsoni rehderi* (40%) y *Semirossia tenera* (40%).

La clase Gastropoda presentó el mayor número de especies con un 60%, seguida por la clase Bivalvia con un 30%, Cephalopoda presentó un 7%, mientras Scaphopoda alcanzó sólo el 3%. En cuanto a la abundancia, los bivalvos obtuvieron un 68%, seguidos de los escafópodos con un 16%; Gastropoda presentó el 14%, mientras las clases Cephalopoda y Polyplacophora estuvieron representadas cada una con el 1%.

En términos generales para el Caribe colombiano la información sobre riqueza (número de especies) y abundancia (número de individuos) de cada una de las clases es representada en la Figura 21 (a-j). A nivel cuantitativo se observan varias áreas donde se destacan tanto el número de especies como de individuos, tal es el caso de La Guajira y el Golfo de Morrosquillo.

Con el fin de encontrar alguna tendencia con relación a la profundidad y el número de individuos recolectados, se realizaron regresiones lineales en general para los moluscos y por separado para todas las clases (Figura 22 a-f). En estas se observa como para Gastropoda, Bivalvia y Cephalopoda existe una relación negativa, es decir, a medida que aumenta la profundidad, disminuye el número de individuos. Mientras que para Scaphopoda tiende a ser positiva. En general para todos los moluscos se observa que a medida que aumenta la profundidad disminuye el número de individuos.



Continuación de Figura 21 g-j.

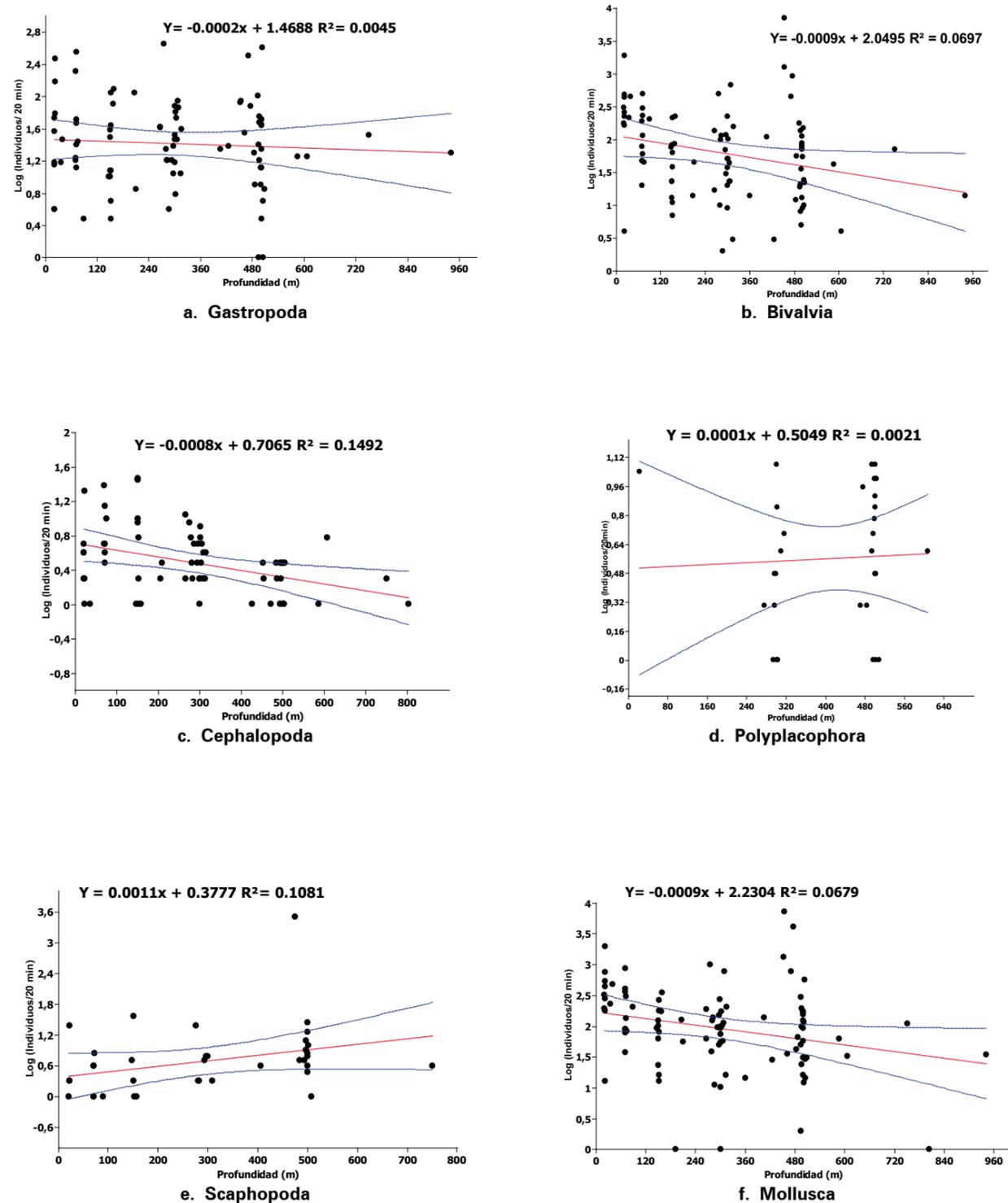
### COMENTARIOS GENERALES

Los moluscos conforman uno de los grupos dominantes de la macrofauna de la plataforma y talud continental del Atlántico Occidental. Los resultados obtenidos evidencian que la malacofauna del Caribe colombiano es rica en términos de número de especies e individuos. Se observaron tendencias generales y algunas particulares para cada una de las clases, las cuales se describen a continuación.

### Bivalvia

Aunque la mayor parte del material fue catalogado a nivel de especie (ej. Figura 23), algunas de éstas se encuentran sujetas a revisión. Es importante aclarar que este grupo en la actualidad presenta muchos vacíos de información en el Atlántico Occidental Tropical, ya que no se han realizado suficientes estudios en aguas profundas, lo que ha llevado a que la taxonomía y distribución geográfica de varias especies se encuentre aún subestimada y en estado de discusión.

**Figura 21 a-f.** Distribución de la riqueza (número de especies) y abundancia (número de individuos) para las diferentes clases de moluscos presentes en cada una de las estaciones a lo largo del Caribe colombiano. Información proveniente de los proyectos Macrofauna I, II, Marcoral y ANH I. **a-b** Bivalvia, **c-d** Gastropoda, **e-f** Cephalopoda, **g-h** Scaphopoda, **i-j** Polyplacophora.



**Figura 22 a-f.** Regresión lineal de la tasa de captura (individuos/20 min.) y profundidad de colecta para cada una de las clases de moluscos encontradas.

Este grupo representa la segunda clase más grande en número de especies dentro de los moluscos. De acuerdo a Allen y Sanders (1996), los bivalvos comprenden entre el 8% y 10% de los invertebrados macrobentónicos de aguas profundas, y se encuentran en el tercer lugar en abundancia después de los poliquetos (>50%) y de los crustáceos peracáridos (>30%). Por esta razón, la alta abundancia de bivalvos en el Caribe colombiano corresponde con lo esperado.

En cuanto a las especies más abundantes, individualmente se observó que comprenden fauna asociada a ambientes profundos, tales como *Limopsis sulcata* 47% (Arcoidea), *Parvamussium pourtalesianum* 5% (Ostreoida), *Pitar arestus* 5% (Veneroida) y *Portlandia nigromaculata* 4% (Nuculoida). Las tres primeras ubicadas en la subclase Pteriomorpha.

Sin embargo, al comparar la fauna de bivalvos en su conjunto desde los 20 a 940 m de profundidad con lo registrado en la literatura para el Atlántico (Allen y Sanders 1996, Allen 2008), puede observarse que las especies presentes en el Caribe colombiano son más

afines a la fauna somera, ya que estuvo dominada por la subclase Pteriomorpha con un 73% de las especies, mientras que la subclase Protobranchia comprendió apenas el 13% de las especies. Se conoce en términos generales que en aguas someras de la plataforma la subclase Pteriomorpha domina la fauna de bivalvos, mientras que la subclase Protobranchia es numéricamente dominante en el mar profundo (Allen y Sanders 1996, Allen 2008).

Sería importante contar con un espectro más amplio de profundidades, para poder establecer comparaciones y analogías (si las hay) con información conocida para grupos como Protobranchia. Estudios recientes sobre composición de la fauna de bivalvos del mar profundo del Atlántico han establecido que entre el borde de la plataforma (200 m) y los 500 m se conocen 79 familias. En los siguientes 500 m hay un descenso en el número a 37 familias presentes y, posteriormente, una disminución lenta en el número con 28 registradas en 3500 m, finalmente otro descenso a 14 en 5000 m de profundidad (Allen 2008).

Con respecto a patrones de endemismo, la fauna de bivalvos presenta porcentajes bajos si se compara a los establecidos para el Atlántico occidental. Con un aproximado de 5% de especies endémicas para el Caribe colombiano, mientras el porcentaje de endemismo establecido para la Guyana es del 22% y 21% para Brasil (Allen y Sanders 1996), esto entre los 250 y 5250 m de profundidad. Resultado que llama la atención ya que nuestro trabajo comprende datos más representativos, como lo son 121 estaciones y un total de 20667 individuos, comparado con 12 estaciones, 36 especies y 6303 especímenes analizados para la Guyana y seis estaciones, 19 especies y 162 especímenes para Brasil.

## Gastropoda

Los fondos del mar profundo contienen una gran variedad de gastrópodos, y aunque es conocido que algunos



**Figura 23.** *Propeamussium dalli*. Recolectado por el proyecto ANH II frente a Arboletes a 782 m de profundidad.

buccinidos y pleurotomátidos que son más grandes en talla también pueden encontrarse a mayores profundidades del talud, la fauna de gastrópodos de aguas profundas es dominada por pequeños neogastrópodos predadores como los túrridos (Barros *et al.* 2001, Young 2003) (ej. Figura 24); esto se hizo evidente en las muestras recolectadas en el Caribe colombiano, donde el 12% de las especies y el 18% de los gastrópodos eran túrridos. Entre los ejemplares de talla grande (> 2 cm) figuran el cenogastrópodo *Xenophora longleyi* y el arqueogastrópodo *Gaza olivacea*; *X. longleyi* es una especie de aguas profundas relativamente común en los fondos blandos del Atlántico occidental (Whorff 1991), que se caracteriza por la alta presencia de especies comensales que se albergan en su concha. *G. olivacea* es una especie igualmente de aguas profundas (Simone y Cunha 2006) que debido a la forma llamativa, color iridiscente y rareza es apreciada por coleccionistas.

En términos generales para la clase Gastropoda los patrones observados en el Caribe colombiano (Figura 22a) corresponden con la zonación propuesta por Rex (1977), quien encontró que los gastrópodos de aguas profundas presentes en el Atlántico norte occidental presentan un gradiente en su composición y abundancia desde el talud superior hasta la zona abisal proporcional a la tasa de cambio en profundidad, siendo más alta sobre el talud, intermedia sobre la cuesta abisal y más baja en los planos abisales. Este patrón puede ser el resultado de la mayor uniformidad de las masas de aguas profundas.

## Cephalopoda

Con relación a este grupo es muy poco lo que se ha avanzado en el conocimiento acerca de la presencia y ecología de las especies de aguas profundas en el Caribe colombiano. La información existente se restringe a algunas especies de interés comercial típicas habitantes de la plataforma continental. El ámbito de profundidad entre el cual se extiende este grupo es muy amplio, comprende desde el intermareal hasta más de 5000 m,



Figura 24. *Leucosyrinx subgrundifera*. Ejemplar recolectado en el proyecto ANH II al noroccidente de Punta Gallinas a 700 m de profundidad. 30,66 mm largo, 8,34 mm ancho.

conociéndose que muchas de las especies oceánicas permanecen durante el día entre 400 y 1000 m y migran durante la noche por encima de los 200 m (Vecchione 2002). De esta manera, la presencia de *Heteroteuthis dispar* y otros loliginidos en los muestreos realizados se explica por su comportamiento migratorio vertical (González y Sánchez 2002).

Se considera que el número de especies para Colombia (10) es muy similar a lo encontrado en estudios llevados a cabo en Brasil, en donde para el talud superior, de 180

a 500 m, se encontraron 11 especies, mientras que entre 500 y 1000 m de profundidad se presentaron 22. Siguiendo esta misma tendencia, se espera que en futuras investigaciones que cubran un mayor espectro de profundidad se encuentre una mayor riqueza, 25 especies (1000-1500 m) y 26 especies (1500-2200 m) (Haimovici *et al.* 2007).

Dentro de las especies recolectadas en el Caribe colombiano, por su ecología, y de acuerdo a los criterios de la FAO (Vecchione 2002), se pueden reconocer cuatro grupos de cefalópodos. Aquellos que se presentan como habitantes típicos de la plataforma somera y de ambientes pelágicos como *Lolliguncula brevis*, *Loligo roperi* y *Loligo* sp. Aquellos que habitan la plataforma somera y ambientes bentónicos, como *Octopus burryi*, *O. zonatus*, *O. vulgaris*, *O. cf. joubini*, *O. cf. tehuelchus*, *Octopus* sp. y *Euaxocephalus pillsburyae*. Los que se presentan en el talud superior y corresponden a especies bentónicas como *Semirossia tenera*, *S. equalis*, *Benthoteuthis januarii*, *B. oregonae* y *Opisthoteuthis agassizii*. Y finalmente, las especies que se presentan en el talud superior y ambientes pelágicos *Heteroteuthis dispar* y *Liocranchia reinhardtii* (Figura 25). Para la mayoría de estas especies su importancia comercial no ha sido establecida ya que no existen pesquerías dirigidas al recurso; en algunos casos hacen parte de la fauna acompañante y se presume su potencial pesquero.

De este grupo se hace importante aclarar que el estado taxonómico de algunas especies como *Octopus vulgaris* aún está en discusión, y es posible que correspondan a complejos de especies que deben ser estudiados en detalle para ser resueltos.

## Scaphopoda

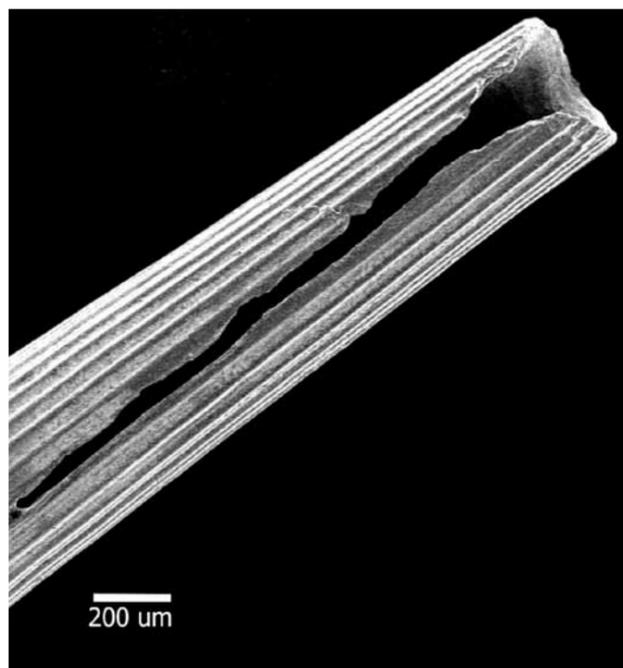
El material recolectado comprende las especies que normalmente se conocen para aguas someras (*Graptacme eborea* Figura 26) y profundas del Atlántico occidental, a excepción del género *Striocadulus*, el cual era conocido solamente para el Océano Pacífico (Este e Indopacífico).



Figura 25. *Liocranchia reinhardtii*. Recolectado por el proyecto Macrofauna II frente a Buritaca a 300 m de profundidad.

Entre las especies comunes con la fauna de Brasil aparecen *Dentalium gouldii*, *D. laqueatum*, *Antalis circumcincta*, *Episiphon didymum*, *Entalina platamodes* y *Compressidens pressum*. Sin embargo, la riqueza encontrada en el Caribe colombiano es menor a la registrada en Brasil (26 especies, 12 géneros y cinco familias), al parecer porque dicho estudio tiene una mayor cobertura geográfica y batimétrica, a profundidades entre 23 y 2076 m (Caetano *et al.* 2006).

De las especies se resalta a *Laevidentalium callipeplum* (Figura 19), por ser la que presentó el mayor número de ejemplares colectados vivos. *L. callipeplum* se encuentra distribuida en el Atlántico occidental, entre Carolina del Sur y las Antillas (Dall 1889, Turner 1955, Scarabino 1979), con un ámbito batimétrico que va desde 45 a 3735 m de profundidad (Henderson 1920, Turner 1955). A pesar de ser común y con amplia distribución, información adicional sobre su ecología es prácticamente inexistente.



**Figura 26.** Detalle SEM del ápice del escafópodo *Graptacme eborea*. Ejemplar recolectado por el Proyecto Macrofauna II frente a Manaure a 22 m de profundidad.

Es importante resaltar que de muchas de las especies solo fueron encontradas conchas vacías, por lo cual se requiere implementar otras metodologías que permitan un mejor conocimiento de su riqueza y abundancia en el Caribe colombiano. Así, es posible que se pueda estar subestimando el número de especies, teniendo en cuenta que estos organismos viven enterrados en el sedimento marino y los muestreos fueron diseñados para estudiar la epifauna y no la infauna. De igual manera, es importante explorar nuevas profundidades, ya que es conocido que cerca del 70% de las especies habitan en profundidades superiores a los 500 m, y de éstas un gran porcentaje se presenta a más de 3000 m, inclusive algunas son exclusivas de los fondos batiales y abisales (Scarabino 1979, 1986a, b; Caetano 2007).

### Polyplacophora

Dentro del material recolectado entre 270 y 520 m de profundidad es importante destacar al quitón *Leptochiton binghami* (Figura 27), una especie relativamente rara por su baja frecuencia de aparición en otras áreas. Con el material encontrado se determinó que se distribuye ampliamente y es común en este tipo de fondos. De este grupo en particular, es muy poco lo que se conoce acerca de su ecología. *L. binghami* se encuentra a lo largo de las costas continentales de Centro y Sudamérica, entre Belice y Colombia hasta 912 m de profundidad (Gracia y Ardila 2004).

Normalmente el género *Leptochiton* habita en aguas profundas, y en algunos casos ha sido asociado con áreas que presentan fluidos hidrotermales y filtraciones de metano. Futuras colectas con tecnologías más especializadas (ej. Vehículo Operado Remotamente) permitirían probablemente establecer la presencia de otras especies del género y aportar información sobre su forma de vida.

### Fauna asociada a otros sustratos o ambientes

Algunas especies fueron encontradas adheridas a la superficie o en los intersticios de restos de madera sumergidos. Este fue el caso de la gran mayoría de lapas pertenecientes a las familias Cocculinidae y Pseudococculinidae (Figura 28), como *Cococrater portoricensis*, *Cocculina emsoni*, *C. messingi*, *C. rathbuni*, *Fedikovella beanii*, *Notocrater houbricki*, *N. youngi*, así como del quitón *Leptochiton binghami*, cuya abundancia fue evidente sobre troncos de madera recolectados. De los bivalvos se destacan algunos mitílidos como *Idasola argentea* y otras especies encontradas en el interior de la madera de hábitos perforadores, correspondientes a la familia Pholadidae (ej. *Xylophaga* spp. Figura 2).

Otros sustratos de origen biológico igualmente explotados fueron otras conchas o valvas de moluscos y restos de material orgánico, donde se encontraron representantes de la familia Arcidae como *Bentharca sagrinata*. Así mismo, una gran cantidad de escafópodos (conchas vacías) se observaron adheridos lateralmente a tubos de poliuretano (Figura 29); estas conchas desde el punto de



**Figura 27.** Vistas dorsal y ventral del quitón *Leptochiton binghami*. Recolectado frente a las islas de San Bernardo a 516 m de profundidad. Largo 13,27 mm, ancho 6,99 mm.

vista taxonómica representaban aportes importantes a la malacofauna por lo que fueron tenidas en cuenta en la identificación.

La composición de los grupos observados en este trabajo, están de acuerdo con lo registrado por Wolff (1979), quien realizó un análisis de la utilización de restos de plantas por parte de la macrofauna profunda (entre 1200 y 8100 m) en varias áreas del Caribe, incluyendo dos estaciones del R/V Pillsbury en aguas profundas del Caribe colombiano, una frente a la península de La Guajira a 1308 m y hacía el NE de Santa Marta a 2365 m de profundidad. Wolff (1979) propone que los diferentes grupos utilizan estos materiales como sustrato para protección y como alimento en otros casos, lo que sugiere para futuros estudios ecológicos tener en cuenta este tipo de información.

Con relación a las especies indicadoras de otro tipo de ambientes de la plataforma o el talud se destacan algunos gastrópodos, que aunque no fueron abundantes o muy diversos, sus hábitos de vida podrían estar vinculados con bancos coralinos de profundidad (Reyes *et al.* 2005), como se mencionó en los resultados de este capítulo.



**Figura 28.** Lapas de la familia Cocculinidae asociadas a restos de material vegetal recolectado en el proyecto ANH II.



**Figura 29.** Escafópodos y conchas de bivalvos encontrados adheridos a tubos de poliqueto. Proyecto Macrofauna II frente a Cartagena a 482 m de profundidad.

Por otra parte, Gracia *et al.* (2009), encontraron algunos bivalvos de las familias Vesicomidae (*Calyptogena ponderosa*, *Vesicomya caribbea*, *Ectenagena modioliforma*), Lucinidae (*Lucinoma* sp. 1 *Lucinoma* sp. 2, *Lucinoma* sp. 3) (Figura 30) y Solemyidae (*Acharax caribbaea*) que podrían ser las evidencias de ambientes reductores en el Caribe colombiano. La información relacionada con este tema se encuentra en proceso de análisis.

### Vacíos y perspectivas

Se espera que este tipo de investigaciones sean consideradas con mayor frecuencia dentro de las agendas nacionales; así mismo, que los resultados obtenidos aporten pautas que contribuyan a fortalecer el soporte científico y técnico de la reglamentación que rige las actividades presentes y futuras que se desarrollan en el margen continental del Caribe colombiano.

Los recursos presentes en el borde de la plataforma y el talud superior tienen un gran valor económico real y potencial como recursos pesqueros (Sumida y Pires-Vanina 1997), científicos e industriales. En este último caso debido a su capacidad de producir sustancias hasta ahora desconocidas con potenciales aplicaciones farmacéuticas e industriales (UNEP 2007).

La mayor extensión de fondos del Caribe se encuentran en promedio entre los 1800 y 3600 m de profundidad, por lo que la plataforma y parte superior del talud son solo una fracción de lo que falta por explorar. Esto, aunado a los resultados obtenidos, resalta la importancia de seguir estudiando de manera sistemática dichos fondos con el fin de detectar y terminar de caracterizar las comunidades allí presentes, no solo por su interés científico, sino también para protegerlos de los impactos actuales y futuros causados por el desarrollo urbano e industrial.

La falta de un conocimiento integrado y multidisciplinario (ej. geológico, oceanográfico, biológico y pesquero) de estos ambientes ha impedido aportar a la solución de aspectos tan importantes como el origen, evolución y respuesta a los impactos potenciales de la biota profunda del Caribe sur. Entre los estudios importantes que aportan a este conocimiento vale la pena mencionar los patrones de riqueza específica y distribución espacial de especies y comunidades, así como de las historias de vida de las especies que los habitan, y la caracterización genética y flujos genéticos entre sus poblaciones.

En cuanto a futuras caracterizaciones será prioritario abordar nuevas metodologías de muestreo estandarizadas y explorar mayores profundidades con el fin de obtener una visión general de la composición, abundancia y relaciones, haciendo énfasis en macro y micromoluscos, infauna y ambientes de fondos duros.



**Figura 30.** Vista externa e interna de *Lucinoma* sp. 1. Encontrada frente a Bocas de Ceniza a 480 m de profundidad por el proyecto Macrofauna I. Alto 48,35 mm, ancho 52,98 mm.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar sus agradecimientos a todas aquellas personas e instituciones que participaron en los proyectos y exploraciones, y que de alguna manera contribuyeron en aumentar el conocimiento de este importante grupo de invertebrados. Especial agradecimiento a Erlenis Fontalvo por el apoyo en el laboratorio y la colección de moluscos; así como a Nadiezhda Santodomingo, Gabriel Navas S. y Lucas Cervera C. por los innumerables aportes en la mejora del documento.

### REFERENCIAS

- Abbott R.T. 1974. American Seashells. The marine Mollusca of the Atlantic and Pacific Coast of North America, 2 ed, Van Nostrand Reinhold Co., Nueva York, 663 p.
- Absalão R.S., C.H.S. Caetano y R.R. Fortes. 2006. Capítulo 6, Filo Mollusca, 211-260. En: Lavrado H.P. y B.L. Ignacio (Eds.), *Biodiversidade bentônica da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira*, Museu Nacional, Série Livros n. 18, Rio de Janeiro, 389 p.
- Allen J.A. 2008. Bivalvia of the deep Atlantic. *Malacologia*, 50(1-2):57-173.
- Allen J.A. y H.L. Sanders. 1996. The zoogeography, diversity and origin of the deep-sea protobranch bivalves of the Atlantic: The epilogue. *Progress in Oceanography*, 38:95-153.
- Arango C.P. 1996. Comunidades de la epifauna asociada a fondos blandos (Crustacea-Mollusca) en la ensenada de Pozos Colorados, Caribe colombiano. Tesis Biología, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 125 p.
- Ardila N.E. 2000. Moluscos del talud superior (200-500 m) del Caribe colombiano: inventario, caracterización de asociaciones y consideraciones preliminares sobre su zoogeografía. Tesis Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 347 p.
- Barros J.C.N. de, F.N. dos Santos, M.C.F. Santos, E. Cabral y F.D. Acioli. 2001. Redescubierta de moluscos obtenidos durante a "Challenger expedition" (1873-1876): Micromoluscos de águas profundas. *Boletín Técnico-Científico do CEPENE Tamandaré*, 9(1):9-24.
- Bayer F.M. 1971. Biological result of the University of Miami deep-sea expeditions. New and unusual mollusks collected by R/V *John Elliott Pillsbury* and R/V *Gerda* in the tropical western Atlantic. *Bulletin of Marine Science*, 21(1):111-236.
- Bayer F.M., G. Voss y R. Robins. 1970. Bioenvironmental and radiological safety feasibility studies: Atlantic-Pacific Interoce-

- anic Canal. Report on the marine fauna and benthic shelf slope communities of the Isthmian Region, University of Miami, La Florida, 99 p., 11 tablas, 70 figs.
- Beesley P.L., Ross G.J.B. y A. Wells (Eds). 1998. Fauna of Australia, Vol. 5 Parte B, Mollusca: The Southern Synthesis. Melbourne: CSIRO Publishing. 1117 p.
- Blanco J. 1994. Estado del conocimiento actual sobre la biodiversidad en la plataforma continental y el talud en el Caribe, 208-215. En: CCO, ENB, PNCTM, Memorias del taller de expertos sobre el estado del conocimiento y lineamientos para una estrategia nacional de biodiversidad en los sistemas marinos y costeros, Minca, Magdalena, Agosto 3-5.
- Boss K.J. 1967. A new species of *Vesicomya* from the Caribbean Sea (Mollusca: Bivalvia: Vesicomidae). *Breviora*, 266:1-5.
- Boss K.J. 1968. Biological investigations of the deepsea. New species of Vesicomidae from the Gulf of Darien, Caribbean Sea (Bivalvia: Mollusca). *Bulletin of Marine Science*, 18(3):731-748.
- Bouchet P. y Rocroi J.P. 2005. Classification and nomenclator of gastropod families. *Malacologia*, 47(1-2):1-397.
- Caetano C.H.S. 2007. Sistemática da classe Scaphopoda (Mollusca) no Brasil. Tesis de doctorado, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Biociências Nucleares), da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 199 p.
- Caetano C.H.S., V. Scarabino y R.S. Aabsalão. 2006. Scaphopoda (Mollusca) from the Brazilian continental shelf and upper slope (13° to 21°S) with descriptions of two new species of the genus *Cadulus* Philippi, 1844. *Zootaxa*, 1267:1-47.
- Coan E., Scott P.V. y F.R. Bernard. 2000. Bivalve seashells of Western North America. Marine bivalve mollusks from Arctic to Baja California. Santa Barbara Museum of Natural History Monographs 2. 764 p.
- Córdoba M. 1997. Macrofauna bentónica asociada a fondos blandos de la plataforma continental de Pozos Colorados y el Rodadero, Caribe colombiano. Tesis Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 107 p.
- Dall W.H. 1881. Report on the results of dredging by the U.S. Coast survey steamer "Blake". XV. Preliminary Report on the Mollusca. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*, 9(2):1-144.
- Dall W.H. 1886. Report on the results of dredging by the U.S. Coast survey steamer "Blake". XXIX. Report on the Mollusca, part I. Brachiopoda and Pelycypoda. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*, 12:171-318, 9 láms.
- Dall W.H. 1889. Report on the results of dredging by the U.S. Coast survey steamer "Blake". XXIX. Report on the Mollusca, part II. Gastropoda and Scaphopoda. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*, 18:1-491, 10-40 láms.
- Daniel I. 2006. Tanatocenosis de los moluscos gastrópodos del margen continental (100- 300 m) adyacente a las islas del Rosario y San Bernardo, Caribe colombiano. Tesis Biología, Universidad del Magdalena, Santa Marta, 84 p.
- Dautzenberg Ph. 1900. Croisières du yacht Chazalie dans l'Atlantique. Mollusques. *Mémoires de la Société zoologique de France*, 13(4):145-265.
- Díaz J.M. 1995. Zoogeography of marine gastropods in the southern Caribbean: A new look at provinciality. *Caribbean Journal of Science*, 31(1-2):104-121.
- Díaz J.M. y M. Puyana. 1994. Moluscos del Caribe Colombiano. Un catalogo ilustrado. Colciencias -Fundación Natura - Invemar, 291 p., 79 láms.
- Díaz J.M., J. Cantera y M. Puyana. 1998. Estado actual del conocimiento en sistemática de moluscos marinos recientes de Colombia. *Boletín Ecotrópica*, 33:15-37.
- Ellingsen K.E. 2002. Soft-sediment benthic biodiversity on the continental shelf in relation to environmental variability. *Marine Ecology Progress Series*, 232:15-27.
- Flórez D.I. 1994. Estudio de la tanatocenosis de foraminíferos, ostrácodos y moluscos presentes en la plataforma y talud continental entre Punta Canoas y Punta Caribaná (Caribe colombiano). Tesis Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 72 p.
- Fontalvo E. 2006. Malacofauna de la plataforma continental de la Guajira Caribe colombiano (10 y 50 m de profundidad). Tesis Biología, Universidad del Magdalena, Santa Marta, 85 p.
- García C. y J.H. Sandoval. 1983. Comunidades macrozoobénticas de fondos blandos en la plataforma continental de Ciénaga, Caribe colombiano en abril de 1982. Tesis Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 48 p.
- García-Valencia C. y J.M. Díaz. 2000. Moluscos y su taxocenosis en los fondos someros del sector sur de la plataforma continental del Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 29:73-80.
- González M. y P. Sánchez. 2002. Cephalopod assemblages caught by trawling along the Iberian Peninsula Mediterranean coast. *Scientia Marina*, 66(suplemento 2):199-208.
- Gracia A. 2000. Moluscos epibentónicos del talud superior (300-500 m de profundidad) entre Punta Gloria y Cabo Tiburón, Caribe Colombiano. Tesis Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 382 p.
- Gracia A. y N. Ardila. 2004. Notas sobre el quitón *Leptochiton binghami* (Boone, 1928) (Mollusca: Polyplacophora) en el Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 33:245-248.
- Gracia A., N.E. Ardila, P. Rachello y J.M. Díaz. 2005. Additions to the scaphopod fauna (Mollusca: Scaphopoda) of the Colombian Caribbean. *Caribbean Journal of Science*, 41(2):328-333.
- Gracia A., N. Rangel-Buitrago y J. Sellanes. 2009. Algunas evidencias de ambientes reductores en el margen continental del Caribe colombiano. XIII Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar COLACMAR, La Habana, Cuba, Presentación Oral, CD de resúmenes, p. 1036.
- Gray J. 2002. Species richness of marine soft sediments. *Marine Ecology Progress Series*, 244:285-297.
- Gray J. y M. Elliot. 2009. Ecology of marine sediments. From Science to management. Oxford University Press, Nueva York, 225 p.
- Guzmán-Alvis A. y O.D. Solano. 1997. Estructura de la taxocenosis Anellida Mollusca en la región de Mingueo, Guajira (Caribe Colombiano). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 26:35-52.
- Haimovici M., P.A.S. Costa, R.A. Santos, A.S. Martins y G. Olavo. 2007. Composição de espécies, distribuição e abundância de cefalópodes do talude da região central do Brasil, 109-132. En: Costa P.A.S., G. Olavo y A.S. Martins (Eds.), *Biodiversidade da fauna marinha profunda na costa central brasileira*, Série Livros n. 24, Museu Nacional, Rio de Janeiro, 184 p.
- Henderson J.B. 1920. A monograph of the east American scaphopod mollusks. Washington. *Bulletin of the United States National Museum*, 111:1-177, 20 láms.
- Keen A.M. 1971. Sea shells of tropical west America. Marine mollusks from Baja California to Perú. 2a ed., Stanford University Press, California, 1064 p.
- López A. 1997. Caracterización espacio-temporal de la taxocenosis Mollusca – Crustácea - Echinodermata en la ensenada de Pozos Colorados y sectores aledaños, Caribe colombiano. Tesis Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 119 p.
- Lutz S.V. y R.N. Ginsburg. 2007. State of deep coral ecosystems in the Caribbean region: Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands, 307-365. En: Lumsden S.E., T.F. Hourigan, A.W. Bruckner y G. Dorr (Eds.), *The State of deep coral ecosystems of the United States*, NOAA Technical Memorandum CRCP-3, Silver Spring MD, 365 p.
- Mikkelsen P.M. y R. Bieler. 2008. Seashells of Southern Florida: Living marine mollusks of the Florida Keys and adjacent regions. Bivalves. Princeton University Press, New Jersey, 503 p.
- Petuch E.J. 1987. New Caribbean molluscan faunas. The coastal education and research foundation, Charlottesville, Virginia, 154 p.
- Ponder W.F. y D.R. Lindberg. 2008. Molluscan evolution and phylogeny, 1-17. En: Ponder W.F. y D.R. Lindberg (Eds), *Phylogeny and evolution of the Mollusca*, University of California Press, Berkeley and Los Angeles, California, 469 p.
- Puyana M. 1992. Caracterización de la malacofauna de la Península de La Guajira (Caribe colombiano). VIII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar, Congreso Centroamericano y del Caribe de Ciencias del Mar, Centro de Convenciones de Pozos Colorados, Santa Marta, Colombia, Memorias, tomo II, 565-581.
- Quintero R. 1982. Inventario de los moluscos bentónicos y nec-tónicos (piso infralitoral) de la Bahía de Cartagena con algunas notas ecológicas. Tesis Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 240 p.
- Rachello P. 2003. Inventario y caracterización estructural de los moluscos de la plataforma continental del Caribe colombiano (20, 70 y 150 m). Tesis Biología, Universidad Javeriana, Bogotá, 145 p.
- Rex M.A. 1977. Zonation in deep-sea gastropods: The importance of biological interactions to rates of zonation, 521-530. En: Keegan B.F., P.O. Ceidigh y P.J.S. Boaden (Eds.), *Biology of benthic organisms*, Pergamon Press, Nueva York, 630 p.
- Reyes J.O., N. Santodomingo, A., Gracia, G.H. Borrero-Pérez, G.R. Navas, L.M. Mejía-Ladino, A. Bermúdez y M. Benavides. 2005. Southern Caribbean azooxanthellate coral communities off Colombia, 309-330. En: Freiwald A. y J.M. Roberts (Eds.), *Cold-water Corals and Ecosystems*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1243 p.
- Reyes J.O., N. Santodomingo, A. Gracia, G.R. Navas, G.H. Borrero-Pérez y B. Posada. 2006. Biodiversidad de las comunidades del margen continental colombiano. Fase I. Comunidades coralinas de profundidad (100-300m), criterios biológicos y geofísicos para la definición del Área Marina Protegida de Islas del Rosario – San Bernardo. Invemar, informe técnico final.
- Rios E. 1994. Seashells of Brazil. 2 ed., Rio Grande, 368 p., 113 láms.
- Rodríguez N. 1983. Micromoluscos recientes de la plataforma Caribe colombiana, entre Bocas de Ceniza e isla Fuerte. Tesis Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 247 p.
- Santodomingo N., J.O. Reyes, A. Gracia, A. Martínez, G. Ojeda y C. García. 2007. *Madracis* coral communities off San Bernardo islands (Colombian Caribbean). *Bulletin of Marine Science*, 82(3):273-287.
- Scarabino V. 1979. Les Scaphopodes bathyaux et abyssaux de l'Atlantique Occidental (Systematique, Distribution, Adap-

- tations). Nouvelle classification pour l'ensemble de la classe. Tesis de Doctorado en Oceanología, Université d'Aix-Marseille II, Marsella, 154 p.
- Scarabino V. 1986a. Nuevos taxa abisales de la clase Scaphopoda (Mollusca). *Comunicaciones Zoológicas del Museo de Historia Natural de Montevideo*, 11(155):1-9, 24 figs.
- Scarabino V. 1986b. Systematics of Scaphopoda (Mollusca). I. Three new bathyal and abyssal taxa of the order Gadilida from south and North Atlantic Ocean. *Comunicaciones Zoológicas del Museo de Historia Natural de Montevideo*, 11(161):1-6, 3 láms.
- Simone L.R. y C.M. Cunha. 2006. Revision of genera *Gaza* and *Callogaza* (Vetigastropoda, Trochidae) with description of a new Brazilian species. *Zootaxa*, 1318:1-40.
- Steiner G. y A.R. Kabat. 2001. Catalogue of supraspecific taxa of Scaphopoda (Mollusca). *Zoosystema*, 23(3):433-460.
- Sumida P.Y.G. y A.M.S. Pires-Vanina. 1997. Benthic associations of the shelf break and upper slope off Ubatuba-SP, South-eastern Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 44:779-784.
- Sweeney M.J., C.F.E. Roper, K.M. Mangold, M.R. Clarke y S.V. Boletzky (Eds.). 1992. "Larval" and juvenile cephalopods: A manual for their identification, *Smithsonian Contributions to Zoology*, 513:1-279 p.
- Okutani T. 1983. Mollusks trawled off Suriname and French Guiana. Japan Marine Fishery Resource Research Center, Tokyo, 354 p.
- Thistle D. 2003. The deep-sea floor: An overview, 5-37, En: Tyler P.A. (Ed.), *Ecosystems of the deep oceans*, Elsevier Science, Amsterdam, 568 p.
- Troncoso J. y C. Aldea. 2008. Macrobenthic mollusc assemblages and diversity in the West Antarctica from the South Shetland Islands to the Bellingshausen Sea. *Polar Biology*, 31:1253-1265.
- Turner R.D. 1955. Scaphopods of the *Atlantis* dredgings in the Western Atlantic with a catalogue of the scaphopod types in the Museum of Comparative Zoology. *Papers in Marine Biology and Oceanography*, 309-320.
- UNEP. 2007. Deep-Sea biodiversity and ecosystems: A scoping report on their socio-economy, management and governance. The Lavenham Press, Cambridge, 84 p.
- Vecchione M. 2002. Cephalopods, 149-244 p. En: Carpenter K.E. (Ed.). *The living marine resources of the Western Central Atlantic*. Introduction, molluscs, crustaceans, hagfishes, sharks, batoid fishes, and chimaeras. FAO. Volumen 1. Publicación especial 5. Roma, 600 p.
- Vokes H.E. 1970. Two new species of deepwater bivalves from the Caribbean Sea. *The Veliger*, 12(3):357-361.

- Voss G. 1968. Biological investigations of the deep sea octopods from the *R/V Pillsbury* southwestern Caribbean cruise, 1966, with a description of a new species, *Octopus zonatus*. *Bulletin of Marine Sciences*, 18(3):644-659.
- Voss G. 1975. *Euaxoctopus pillsburyae*, new species, (Mollusca: Cephalopoda) from the southern Caribbean and Surinam. *Bulletin of Marine Science*, 25(3):346-352.
- Werding B. y G. Manjarres. 1978. Informe sobre las estructuras litorales y la fauna y flora marina en el nor-oeste del Golfo de Urabá. Invemar, Santa Marta, 86 p.
- Whorff J. 1991. Commensals associated with *Xenophora (Onustus) longleyi* Bartsch (Mollusca: Gastropoda) in the Gulf of México and Caribbean Sea. *The Veliger*, 34(1):32-37.
- Wolff T. 1979. Macrofaunal utilization of plant remains in the deep sea. *Sarsia*, 64(1-2):117-136, 5 láms.
- Young C.M. 2003. Reproduction, development and life-history traits, 381-426. En: Tyler P.A. (Ed.), *Ecosystems of the world*, Ecosystems of the deep oceans, Elsevier Science, Amsterdam, 568 p.
- Young R.E., Vecchione M. y K.M. Mangold. 2010. Cephalopoda Cuvier 1797. Octopods, squids, nautilus, etc.. Version 03, Mayo 2010 (en construcción). <http://tolweb.org/Cephalopoda/19386/2010.05.03> en: The Tree of Life Web Project, <http://tolweb.org/>.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Descripción de las principales expediciones extranjeras que han sido documentadas y de las cuales se tiene evidencia de la colecta de moluscos en aguas profundas colombianas.

Expedición/ nacionalidad	Localidades muestreadas/ Metodologías	Resultados	Referencias
<i>R/V Argo</i> (1876) -Inglesa	Santa Marta, Sabanilla, y Cartagena	No disponibles.	No disponibles.
Yate <i>Chazalie</i> - Francesa	En 1893 y 1896 recolectó material de aproximadamente 444 especies de moluscos, provenientes las tres cuartas partes de las Antillas, de las islas de sotavento y de varios puntos de la costa septentrional de América del sur. En Colombia el material corresponde a 12 estaciones realizadas entre febrero y marzo de 1896 en localidades como Santa Marta, bahías de Taganga y Gayraca, Riohacha y Bahía Honda. Las colectas comprenden material proveniente de dragados (3-40 m de profundidad) y colectas en playa.	El belga Philippe Dautzenberg, realizó los primeros registros para el área de varias especies de gastrópodos, bivalvos y polioplacoforos, con la descripción de nuevas especies (ej. <i>Antillophos chazaliei</i> , <i>Hindsiclava chazaliei</i> , <i>Euvola chazaliei</i> , <i>Leptopecten bavayi</i> , <i>Ennucula dalmasi</i> ). Se destacan los primeros registros de escafópodos para la costa norte de Suramérica; todos ellos incluyen localidades del litoral colombiano.	Dautzenberg (1900)
<i>R/V Oregon</i> (1969); <i>R/V Oregon II</i> (1950's a 1970's); <i>R/V Gerda</i> (1960's) - Norteamericana	No disponibles.	Del <i>Oregon II</i> se conocen trabajos como los del norteamericano Harold E. Vokes quien describió dos nuevas especies de bivalvos de aguas profundas encontradas en la costa norte colombiana (ej. <i>Acharax caribbaea</i> y <i>Acesta colombiana</i> ). Así mismo Kenneth J. Boss describió a <i>Vesicomya caribbea</i> , colectada frente a la Península de La Guajira.	Boss (1967), Vokes (1970)
<i>R/V Pillsbury</i> (1966-1968) - Norteamericana	Expedición que pretendía caracterizar la fauna adyacente al canal de Panamá. En total para el sur del Caribe colombiano se realizaron 65 estaciones distribuidas entre el Golfo de Urabá y Cartagena, llevadas a cabo con diversos tipo de arte (dragas, redes de arrastre, dragas para vieiras, etc.). Comprendió profundidades entre los 0 m (arrastrés superficiales) hasta los 2944 m.	De éstas, el 80% se llevaron a cabo entre 0-199 m de profundidad, 7,69% entre 200-499 m, 6,15% entre 500-999 m, 4,62% entre 1000-1499 m y tan solo 1,54% entre 1500-3000 m. Siendo este estudio hasta la fecha el más completo en la caracterización de la fauna profunda de este sector. Del total de dichas estaciones, en un 83% se encontraron representantes de este phylum, principalmente gastrópodos, seguidos por bivalvos, algunos calamares y pulpos, y finalmente una especie de quitón. De la expedición nuevamente cabe destacar a K.J. Boss quien describió y registró bivalvos de aguas profundas rara vez encontrados en otras localidades como <i>Vesicomya cordata</i> y <i>Ectenagena modioliforma</i> , encontradas y descritas con material encontrado frente al Golfo de Morrosquillo. Así mismo <i>Calypptogena ponderosa</i> . Otra importante contribución a la fauna profunda la realizó Gilbert L. Voss quien revisó los pulpos describiendo a <i>Octopus zonatus</i> y <i>Euaxoctopus pillsburyae</i> .	Voss (1968), Boss (1968), Bayer <i>et al.</i> (1970), Bayer (1971) y Voss (1975)

**Anexo 2.** Número y tipo de publicaciones realizadas con material colectado en los proyectos y divididos por cada una de las clases estudiadas.

Grupo	Año	Autores	Título
GASTROPODA	2007	Ardila N.E., A. Valdés y D.P. Báez-Sandoval.	Babosas y Liebres de mar (Mollusca: Gastropoda: Opisthobranchia) de Colombia. Biota Colombiana, 8(2):185-197.
		Simone L.R. y A. Gracia.	A new species of <i>Suturoglypta</i> from Colombia (Caenogastropoda, Columbellidae). Pa-péis Avulsos de Zoología, 46(12):133-137.
	2006	Simone L.R. y A. Gracia.	Two new species of <i>Terebra</i> (Gastropoda, Conoidea) from Colombia. Papéis Avulsos de Zoología, 46(11):125-132.
		Báez D.P. y N.E. Ardila.	Sobre la sinonimia entre <i>Armina wattla</i> Marcus y Marcus, 1967 y <i>Armina muelleri</i> (Ihe-ring, 1886) (Gastropoda: Nudibranchia: Arminidae). Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras, 35:249-254.
		Ardila N.E. y M.G. Harasewych.	Cocculinid and Pseudococculinid Limpets (Gastropoda: Cocculiniformia) from the Ca-ribbean Coast of Colombia. Proceedings of Biological Society of Washington, 118(2):344-366.
	2005	Miloslavich P., A. Carbonini, J.M. Díaz y N.E. Ardila.	Spawn of <i>Amphissa</i> sp. and <i>Cosmioconcha</i> sp. (Caenogastropoda: Columbellidae) from the Colombian Caribbean. The Nautilus, 119(4):157-163.
		Ardila N.E. y P. Rachello.	Opisthobranchs (Mollusca: Gastropoda) collected by the cruises Invemar-Macrofauna II in the Colombian Caribbean (20-150 m). Avicennia, 17:57-66.
		Ardila N.E. y A. Valdés.	The genus <i>Armina</i> (Gastropoda: Nudibranchia: Arminidae) in the Southern Caribbean, with the description of a new species. The Nautilus, 118(4):131-138.
	2004	Gracia A., N.E. Ardila y J.M. Díaz.	Gastropods collected along the continental slope of the Colombian Caribbean during the Invemar-Macrofauna campaigns (1998-2001). Iberus, 22(1):43-75.
		Gracia A. y F. Boyer.	Distribution of <i>Volvarina hennequini</i> Boyer, 2001 in the Western Caribbean Sea and description of a new bathyal <i>Volvarina</i> from Northern Colombia. Novapex, 5(2-3):79-84.
	Gracia A. y J.L. Vera-Peláez.	<i>Thatcherina diazi</i> , nueva especie actual del género fósil del Pliocénico <i>Thatcherina</i> Vera-Peláez, 1998 (Gastropoda, Turridae) del Caribe colombiano: consideraciones estratigrá-ficas, biogeográficas y filogenéticas. Pliocénica, 4:1-10.	
2002	Ardila N.E. y J.M. Díaz.	<i>Armina juliana</i> (Nudibranchia: Arminoidea: Arminidae) a new species from the southern Caribbean. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras, 31:25-31.	
BIVALVIA	2008	Simone L.R. y C.M. Cunha.	Revision of the genus <i>Spinosipella</i> (Bivalvia: Verticordiidae), with descriptions of two new species from Brazil. The Nautilus, 122(2):57-78.
	1998	Ardila N.E. y J.M. Díaz.	Two new species of <i>Periploma</i> (Bivalvia: Anomalodesmata: Periplomatidae) from the southern Caribbean. The Nautilus 112(2):69-72.

**Continuación Anexo 2.**

Grupo	Año	Autores	Título
POLYPLACOPHORA	2004	Gracia A. y N.E. Ardila.	Notas sobre el quitón <i>Leptochiton binghami</i> (Boone, 1928) (Mollusca: Polyplacophora) en el Caribe colombiano. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras, 33:245-248.
	2005	Gracia A., J.M. Díaz y N. Ardila.	Quitones (Mollusca: Polyplacophora) del Caribe colombiano. Biota Colombiana, 6(1):117-125.
SCAPHOPODA	2009	Gracia A. y N.E. Ardila.	<i>Striocadulus magdalenensis</i> , a new deep-sea scaphopod (Mollusca: Scaphopoda: Gadi-lidae) from the Colombian Caribbean. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras, 38(1):143-150.
	2005	Gracia A., N.E. Ardila, P. Rachello y J.M. Díaz.	Additions to the scaphopod fauna (Mollusca: Scaphopoda) of the Colombian Caribbean. Caribbean Journal of Science, 41(2):328-333.
CEPHALOPODA	2002	Gracia A., N.E. Ardila y J.M. Díaz.	Cefalópodos (Mollusca: Cephalopoda) del talud superior del Caribe colombiano. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras, 31:219-238.
	2000	Díaz J.M., N.E. Ardila y A. Gra-cia.	Calamares y Pulpos (Mollusca: Cephalopoda) del mar Caribe Colombiano. Biota Co-lombiana, 1(2):195-202.

**Anexo 3.** Listado de las especies encontradas en los proyectos Macrofauna I y II y ANH I, indicando el número de ejemplares y la frecuencia de aparición en 137 estaciones. Se señalan con \* las especies que se registraron por primera vez para Colombia en el desarrollo de dichos proyectos. No se incluyen las especies y registros de Marcoral y ANH II.

Taxón	Número de individuos	% Frecuencia
Clase Polyplacophora Gray, 1821		
Orden Neoloricata Bergenhayn, 1855		
Acanthochitonidae Simroth, 1894		
<i>Acanthochitona pygmaea</i> (Pilsbry, 1893)	4	0,73
<i>Acanthochitona</i> sp.	1	0,73
Ischnochitonidae Dall, 1899		
<i>Chaetopleura apiculata</i> (Say en Conrad, 1834)	2	0,73
<i>Lepidochitona rosea</i> Kaas, 1972*	4	0,73
Leptochitonidae Dall, 1889		
<i>Leptochiton binghami</i> (Boone, 1928)	144	21,90
Clase Bivalvia Linné, 1759		
Subclase Protobranchia Pelseneer, 1889		
Orden Nuculoida Dall, 1889		
Nuculidae Gray, 1824		
<i>Nucula dalmasi</i> Dautzenberg, 1900	45	2,19
<i>Nucula puelcha</i> d'Orbigny, 1846*	107	10,22
<i>Nucula semiornata</i> (d'Orbigny, 1846)*	4	1,46
<i>Nucula tenuis</i> (Montagu, 1808)*	33	4,38
<i>Nucula</i> sp.	20	3,65
<i>Nucula</i> sp.	46	4,38
Nuculidae sp.	3	0,73
Nuculanidae H. y A. Adams, 1858		
<i>Adrana scaphoides</i> Rehder, 1939	2	1,46
<i>Adrana tellinoides</i> (Sowerby, 1823)	175	2,92
<i>Nuculana acuta</i> (Conrad, 1931)	277	16,06
<i>Nuculana cestrota</i> (Dall, 1890)	448	10,22
<i>Nuculana concentrica</i> (Say, 1824)	49	2,92
<i>Nuculana platessa</i> (Dall, 1890)	11	5,11
<i>Nuculana vitrea</i> (Dall, 1881)	63	4,38
Neilonellidae Allen, 1978		
<i>Neilo dilatata</i> (Philippi, 1884)*	143	8,76
<i>Neilo</i> sp.	67	8,03
Yoldiidae Gilibert y van de Poel, 1965		
<i>Orthoyoldia crosbyana</i> (Guppy, 1882)	696	22,63
<i>Orthoyoldia scapania</i> (Dall, 1889)*	49	9,49
<i>Orthoyoldia</i> sp.	31	0,73
<i>Portlandia nigromaculata</i> Okutani, 1983*	889	16,06
Tindariidae Bellardi, 1857		
<i>Tindaria cytherea</i> (Dall, 1881)	39	5,11
Subclase Pteromorpha Beurlen, 1944		
Orden Arcoida Stoliczka, 1871		

## Continuación Anexo 3.

Taxón	Número de individuos	% Frecuencia
Arcidae Lamarck, 1809		
<i>Anadara baughmani</i> Hertlein, 1951	16	2,19
<i>Anadara chemnitzii</i> (Philippi, 1851)	14	2,19
<i>Arca zebra</i> (Swainson, 1833)	387	5,11
<i>Anadara</i> sp.	11	2,19
<i>Barbatia candida</i> (Helbling, 1779)	135	5,11
<i>Barbatia</i> sp.	2	0,73
<i>Bathyarca glomerula</i> (Dall, 1881)*	11	5,84
<i>Bentharca sagrinata</i> (Dall, 1886)	18	2,92
Glycymerididae Newton, 1916		
<i>Glycymeris decussata</i> (Linné, 1758)	1	0,73
<i>Glycymeris undata</i> (Linné, 1758)	1	0,73
<i>Tucetona pectinata</i> (Gmelin, 1791)	32	4,38
Noetiidae Steward, 1930		
<i>Arcopsis adamsi</i> (Smith, 1890)	3	2,19
Limopsidae Dall, 1895		
<i>Limopsis antillensis</i> (Dall, 1881)	13	3,65
<i>Limopsis sulcata</i> Verrill y Bush, 1898*	9585	18,98
<i>Limopsis</i> sp.	17	1,46
Orden Mytiloida Férussac, 1822		
Mytilidae Rafinesque, 1815		
<i>Amygdalum politum</i> (Verrill y Smith, 1880)	13	5,84
<i>Amygdalum sagittatum</i> Rehder, 1934	24	5,11
<i>Brachidontes exustus</i> (Linné, 1758)	4	0,73
<i>Idasola argentea</i> (Jeffreys, 1876)*	12	3,65
<i>Modiolus americanus</i> (Leach, 1815)	17	2,19
<i>Musculus lateralis</i> (Say, 1822)	6	1,46
Orden Pterioidea Newell, 1965		
Pteriidae Gray, 1847		
<i>Pteria colymbus</i> (Röding, 1798)	4	0,73
Orden Limoida Waller, 1978		
Limidae Rafinesque, 1815		
<i>Acesta colombiana</i> (Vokes, 1970)	13	3,65
<i>Ctenoides scabra</i> (Born, 1778)	1	0,73
<i>Lima lima</i> (Linné, 1758)	2	0,73
<i>Limaria pellucida</i> Adams, 1846	2	1,46
<i>Limaria</i> sp.	46	1,46
<i>Limidae</i> sp.	8	2,19
Orden Ostreoida Férussac, 1822		
Pectinidae Rafinesque, 1815		
<i>Aequipecten lineolaris</i> (Lamarck, 1819)	146	7,30
<i>Chlamys munda</i> (Reeve, 1853)	41	5,11

## Continuación Anexo 3.

Taxón	Número de individuos	% Frecuencia
<i>Chlamys nucleus</i> (Born, 1780)	418	2,19
<i>Pecten ziczac</i> (Linné, 1758)	39	3,65
Pectinidae sp.	3	0,73
<i>Pecten chazaliei</i> (Dautzenberg, 1900)	149	5,11
Propeamussiidae Abbott, 1954		
<i>Amusium laurenti</i> (Gmelin, 1791)	3	1,46
<i>Parvamussium pourtalesianum</i> (Dall, 1886)	1034	16,06
<i>Parvamussium sayanum</i> (Dall, 1886)*	19	2,92
<i>Propeamussium dalli</i> (Smith, 1886)	268	17,52
Plicatulidae Watson, 1930		
<i>Plicatula gibbosa</i> (Lamarck, 1801)	3	1,46
Subclase Heterodonta Neumayr, 1884		
Orden Veneroida H. y A. Adams, 1856		
Lucinidae Fleming, 1828		
<i>Anodontia alba</i> Link, 1807	1	0,73
<i>Codakia pectinella</i> (Linné, 1758)	1	0,73
<i>Lucina muricata</i> (Spengler, 1798)	35	2,92
<i>Lucina</i> sp.	1	0,73
<i>Lucinoma</i> sp.	4	2,19
Lucinidae sp.	7	0,73
<i>Myrtea lens</i> (Verrill y Smith, 1880)*	9	1,46
<i>Myrtea prystiphora</i> Dall y Simpson, 1901	31	4,38
<i>Myrtea</i> sp.	5	1,46
<i>Parvilucina amianta</i> (Dall, 1901)	21	2,92
Ungulinidae H. y A. Adams, 1857		
<i>Diplodonta notata</i> Dall y Simpson, 1901	3	1,46
<i>Diplodonta nucleiformis</i> Wagner, 1840	1	0,73
<i>Diplodonta punctata</i> (Say, 1822)	15	2,19
<i>Timothyus rehderi</i> (Altena, 1968)	1	0,73
Thyasiridae Dall, 1900		
<i>Thyasira</i> cf. <i>bisecta</i> Conrad, 1849	1	0,73
<i>Thyasira conia</i> Dall y Simpson, 1901	5	2,19
<i>Thyasira</i> sp.	1	0,73
Thyasiridae sp.	3	0,73
Crassatellidae Férussac, 1822		
<i>Crassinella lunulata</i> (Conrad, 1834)	3	0,73
Chamidae Lamarck, 1809		
<i>Arcinella arcinella</i> (Linné, 1767)	20	3,65
<i>Chama congregata</i> (Conrad, 1833)	20	1,46
<i>Chama macerophylla</i> Gmelin, 1791	93	2,92
<i>Chama</i> sp.	1	0,73
Vesicomidae Dall y Simpson, 1901		

## Continuación Anexo 3.

Taxón	Número de individuos	% Frecuencia
<i>Calyptogena ponderosa</i> Boss, 1968	1	0,73
<i>Ectenagena modioliforma</i> Boss, 1968	2	1,46
<i>Vesicomya caribbea</i> Boss, 1967	2	1,46
Vesicomidae sp.	19	1,46
Cardiidae Lamarck, 1809		
<i>Americardia media</i> (Linné, 1758)	2	0,73
<i>Laevicardium fragilis</i>	5	1,46
<i>Laevicardium laevigatum</i> (Linné, 1758)	86	4,38
<i>Laevicardium pictum</i> (Ravenel, 1861)	42	4,38
<i>Laevicardium sybariticum</i> (Dall, 1886)	320	6,57
<i>Laevicardium</i> sp.	8	0,73
<i>Nemocardium peramabile</i> (Dall, 1881)*	142	8,03
<i>Nemocardium tinctum</i> (Dall, 1881)	173	8,76
<i>Papyridea soleniformis</i> (Bruguère, 1789)	9	2,19
<i>Trachycardium isocardia</i> (Linné, 1758)	3	1,46
<i>Trachycardium muricatum</i> (Linné, 1758)	39	3,65
<i>Trigoniocardia antillarum</i> (D'orbigny, 1842)	341	6,57
Veneridae Rafinesque, 1815		
<i>Anomalocardia brasiliiana</i> Gmelin, 1791	13	0,73
<i>Callista eucymata</i> (Dall, 1890)	1	0,73
<i>Callista maculata</i> (Linné, 1758)	1	0,73
<i>Chione cancellata</i> (Linné, 1767)	16	2,92
<i>Chione intapurpurea</i> (Conrad, 1849)	17	2,19
<i>Chione paphia</i> (Linné, 1767)	4	1,46
<i>Cyclinella tenuis</i> (Récluz, 1852)	21	2,92
<i>Dosinia concentrica</i> (Born, 1778)	36	1,46
<i>Gouldia cerina</i> (Adams, 1845)	8	0,73
<i>Pitar albidus</i> Gmelin, 1791	10	2,92
<i>Pitar dione</i> (Linné, 1758)	12	1,46
<i>Pitar arestus</i> (Dall y Simpson, 1901)	985	8,76
<i>Pitar fulminatus</i> (Menke, 1828)	1	0,73
<i>Pitar circinatus</i> (Born, 1778)	2	0,73
<i>Tivela mactroides</i> (Born, 1778)	4	1,46
Tellinidae Blainville, 1814		
<i>Macoma cleryana</i> (d'Orbigny, 1846)	5	0,73
<i>Macoma pseudomera</i> Dall y Simpson, 1901	91	5,84
<i>Macoma tageliformis</i> Dall, 1900	22	3,65
<i>Macoma tenta</i> (Say, 1834)	360	13,14
<i>Strigilla mirabilis</i> (Philippi, 1841)	1	0,73
<i>Tellina angulosa</i> Gmelin, 1791	98	2,19
<i>Tellina juttingae</i> (Altena, 1965)	61	5,11
<i>Tellina martinicensis</i> d'Orbigny, 1842	86	5,84

## Continuación Anexo 3.

Taxón	Número de individuos	% Frecuencia
<i>Tellina nitens</i> C.B. Adams, 1845	6	1,46
<i>Tellina persica</i> Dall y Simpson, 1901	110	8,76
<i>Tellina probrina</i> Boss, 1964	240	12,41
<i>Tellina punicea</i> Born, 1778	1	0,73
<i>Tellina trinitatis</i> (Tomlin, 1929)	1	0,73
<i>Tellina</i> sp.	2	0,73
<i>Tellina</i> sp. 1	3	0,73
<i>Temnoconcha brasiliiana</i> (Dall, 1921)	7	0,73
Psammobiidae Fleming, 1828		
<i>Circumphalus strigillinus</i> (Dall, 1902)	10	2,92
<i>Sanguinolaria cruenta</i> (Lightfoot, 1786)	2	0,73
<i>Solecurtus cumingianus</i> Dunker, 1861	12	5,11
<i>Ventricolaria listeroides</i> Fischer-Piette y Testud, 1967	6	0,73
Semelidae Stoliczka, 1870		
<i>Abra aequalis</i> (Say, 1822)	41	0,73
<i>Abra longicallis</i> (Sacchi, 1837)	284	24,09
<i>Semele bellastrata</i> (Conrad, 1837)	10	0,73
<i>Semele purpurascens</i> (Gmelin, 1791)	3	0,73
Mactridae Lamarck, 1809		
<i>Mactra petiti</i> d'Orbigny, 1846	15	1,46
<i>Martesia fragilis</i> Verrill y Bush, 1898	1	0,73
<i>Martesia striata</i> (Linné, 1758)	4	0,73
<i>Mactrellona alata</i> (Spengler, 1802)	11	0,73
<i>Mulinia cleryana</i> (d'Orbigny, 1846)	64	1,46
<i>Raeta plicatella</i> (Lamarck, 1818)	2	0,73
Orden Myoida Stolicka, 1870		
Corbulidae Lamarck, 1818		
<i>Corbula chittyana</i> Adams, 1852	13	5,11
<i>Corbula contracta</i> (Say, 1822)	84	2,19
<i>Corbula cymella</i> Dall, 1881	10	1,46
<i>Corbula operculata</i> Philippi, 1848	97	1,46
<i>Corbula patagonica</i> d'Orbigny, 1846	31	0,73
<i>Corbula</i> sp.	8	1,46
Pholadidae Lamarck, 1809		
<i>Xylophaga atlantica</i> Richards, 1942	15	2,92
<i>Xylophaga</i> cf. <i>abyssorum</i> Dall, 1886	10	2,92
<i>Xylophaga</i> sp.	8	1,46
Teredinidae Rafinesque, 1815		
<i>Bankia</i> sp.	5	1,46
Subclase Anomalodesmata Dall, 1889		
Orden Pholadomyoida Newell, 1965		
Pandoridae Rafinesque, 1815		

## Continuación Anexo 3.

Taxón	Número de individuos	% Frecuencia
<i>Pandora bushiana</i> (Dall, 1886)	106	2,92
Lyonsiidae Fischer, 1887		
<i>Entodesma beana</i> (d'Orbigny, 1842)	14	2,19
<i>Lyonsia hyalina floridana</i> Conrad, 1849	1	0,73
Thraciidae Stoliczka, 1870		
<i>Cyathodonta semirugosa</i> (Reeve, 1859)	1	0,73
Orden Septibranchia Pelseneer, 1888		
Cuspidariidae Dall, 1886		
<i>Cardiomya perrostrata</i> (Dall, 1881)*	51	9,49
<i>Cardiomya ornatissima</i> (d'Orbigny, 1842)	2	1,46
<i>Cardiomya striata</i> (Jeffreys, 1876)	8	3,65
<i>Cardiomya</i> sp.	2	1,46
<i>Cuspidaria fraterna</i> Verrill y Bush, 1893	8	4,38
<i>Cuspidaria</i> cf. <i>jeffreysi</i> (Dall, 1881)	1	0,73
<i>Cuspidaria media</i> Verrill y Bush, 1898*	20	4,38
<i>Cuspidaria</i> sp.	8	3,65
<i>Cuspidaria</i> sp. 1	1	0,73
<i>Cuspidaria</i> sp. 2	2	1,46
<i>Cuspidaria</i> sp. 3	8	4,38
<i>Myonera paucistriata</i> Dall, 1886*	27	5,11
Verticordiidae Stoliczka, 1871		
<i>Euciroa elegantissima</i> (Dall, 1881)	21	5,11
<i>Euciroa grandis</i> (Smith, 1885)*	3	1,46
<i>Euciroa</i> sp.	2	0,73
<i>Haliris fischeriana</i> (Dall, 1881)*	3	2,19
<i>Lyonsiella cordata</i> Verrill y Bush, 1898*	2	1,46
<i>Spinospella agnes</i> Simone y Cunha, 2008	13	5,11
<i>Verticordia ornata</i> (d'Orbigny, 1846)	5	0,73
Poromyidae Dall, 1886		
<i>Poromya cymata</i> Dall, 1890	1	0,73
<i>Poromya margarita</i> Dall, 1886*	103	8,76
<i>Poromya rostrata</i> (Rehder, 1943)	88	15,33
Orden Pholadomyoida Newell, 1965		
Pholadomyidae Gray, 1847		
<i>Allogramma</i> sp.	1	0,73
Scaphopoda Bronn, 1863		
Orden Dentaliida da Costa, 1776		
Gadiliniidae Chistikov, 1975		
<i>Episiphon didynum</i> (Watson, 1879)	3	0,73
Dentaliidae Gray, 1847		
<i>Antalis circumcincta</i> (Watson, 1879)	28	0,73
<i>Dentalium americanum</i> Chenu, 1843	36	5,11

## Continuación Anexo 3.

Taxón	Número de individuos	% Frecuencia
<i>Dentalium gouldii</i> Dall, 1889*	6	0,73
<i>Dentalium laqueatum</i> Verrill, 1885*	2	1,46
<i>Graptacme eborea</i> (Conrad, 1846)	3	1,46
Laevidentalidae Palmer, 1974		
<i>Laevidentalium callipeplum</i> (Dall, 1889)*	218	16,79
Orden Gadilida Starobogatov, 1974		
Entalinidae Chistikov, 1979		
<i>Entalina platamodes</i> (Watson, 1879)*	320	5,84
<i>Antalis</i> sp.	2696	2,92
Pulsellidae Scarabino en Boss, 1982		
<i>Compressidens pressum</i> (Pilsbry y Sharp, 1897)*	8	2,92
Gadilidae Stoliczka, 1868		
<i>Gadila acus</i> (Dall, 1889)	1	0,73
<i>Gadila watsoni</i> (Dall, 1881)*	7	2,92
<i>Gadila</i> sp.	1	0,73
<i>Striocadulus magdalenesis</i> Gracia y Ardila, 2009	4	0,73
Cephalopoda Schneider, 1784		
Subclase Coleoidea Bather, 1788		
Superorden Octopodiformes Berthold y Engeser, 1987		
Orden Octopoda Leach, 1818		
Opisthoteuthidae Verrill, 1896		
<i>Opisthoteuthis agassizi</i> Verrill, 1883*	9	5,84
Octopodidae d'Orbigny, 1840		
<i>Benthoctopus januarii</i> (Hoyle, 1885)	12	4,38
<i>Benthoctopus oregonae</i> Toll, 1981*	3	2,19
<i>Euaxoctopus pillsburyae</i> Voss, 1975	1	0,73
<i>Octopus burryi</i> Voss, 1950	3	2,19
<i>Octopus joubini</i> Robson, 1929	3	0,73
<i>Octopus tehuelchus</i> d'Orbigny, 1834	2	0,73
<i>Octopus vulgaris</i> Cuvier, 1797	1	0,73
<i>Octopus zonatus</i> Voss, 1968	1	0,73
<i>Octopus</i> sp.	1	0,73
<i>Octopus</i> sp. 1	1	0,73
<i>Octopus</i> sp. 2	4	2,19
<i>Octopus</i> sp. 3	1	0,73
<i>Octopus</i> sp. 4	1	0,73
Superorden Decapodiformes Leach, 1817		
Orden Oegopsida Orbigny, 1845		
Cranchiidae Prosch, 1847		
<i>Liocranchia reinhardti</i> (Streenstrup, 1856)*	3	2,19
Enoploteuthidae Pfeffer, 1900		
<i>Abralia veranyi</i> (Rüppell, 1844)*	4	0,73

## Continuación Anexo 3.

Taxón	Número de individuos	% Frecuencia
Ommastrephidae Steenstrup, 1857		
<i>Illex coindetii</i> (Verany, 1839)	1	0,73
Orden Myopsida Naef, 1916		
Loliginidae d'Orbigny, 1848		
<i>Lolliguncula brevis</i> (Blainville, 1823)	6	2,92
Orden Myopsida Naef, 1916		
Loliginidae d'Orbigny, 1848		
<i>Loligo roperi</i> Cohen, 1976	12	2,19
<i>Loligo</i> sp. 1	132	13,14
Orden Sepioidea Naef, 1916		
Sepiolidae Leach, 1817		
<i>Heteroteuthis dispar</i> (Rüppell, 1844)*	7	3,65
<i>Semirossia equalis</i> (Voss, 1950)*	2	1,46
<i>Semirossia tenera</i> (Verrill, 1880)*	105	24,82
<i>Semirossia</i> sp.	16	2,92
Gastropoda		
Subclase Eogastropoda		
Orden Patellogastropoda Lindberg, 1986		
Acmaeidae Carpenter, 1857		
<i>Pectinodonta arcuata</i> Dall, 1882*	30	3,65
Subclase Orthogastropoda		
Superorden "Cocculiniformia" Haszprunar, 1987		
Cocculinidae Dall, 1882		
<i>Cococrater portoricensis</i> (Dall y Simpson, 1901)	7	1,46
<i>Cocculina emsoni</i> McLean y Harasewych, 1995*	34	1,46
<i>Cocculina fenestrata</i> Ardila y Harasewych, 2005	3	0,73
<i>Cocculina messingi</i> McLean y Harasewych, 1995*	101	10,95
<i>Cocculina rathbuni</i> Dall, 1882	38	8,76
<i>Cocculina</i> sp.	45	8,03
Cocculinidae spp.	87	9,49
<i>Fedikovella beanii</i> (Dall, 1882)*	4	0,73
Pseudococculinidae Hickman, 1983		
<i>Copulabyssia colombia</i> Ardila y Harasewych, 2005	1	0,73
<i>Copulabyssia</i> sp. 2	1	0,73
<i>Notocrater houbrieki</i> McLean y Harasewych, 1995*	47	5,11
<i>Notocrater youngi</i> McLean y Harasewych, 1995*	1	0,73
Superorden Vetigastropoda Salvini-Plawen, 1980		
Scissurellidae Gray, 1847		
<i>Haliotis pourtalesii</i> Dall, 1881	1	0,73
Fissurellidae Fleming, 1822		
<i>Cranopsis</i> sp.	3	0,73
<i>Diodora cayenensis</i> (Lamarck, 1822)	60	3,65

## Continuación Anexo 3.

Taxón	Número de individuos	% Frecuencia
<i>Diodora meta</i> (Ihering, 1927)	1	0,73
<i>Diodora tanneri</i> (Verrill, 1882)*	2	1,46
<i>Diodora</i> sp. 1	1	0,73
<i>Fissurisepta acuminata</i> (Watson, 1883)*	3	1,46
Fissureliidae sp.	6	0,73
<i>Lucapina</i> sp. 1	1	0,73
<i>Puncturella granulata</i> Seguenza, 1863*	7	2,92
Turbiniidae Rafinesque, 1815		
<i>Arene variabilis</i> (Dall, 1889)	253	17,52
Trochidae Rafinesque, 1815		
<i>Calliostoma fernandezii</i> Princz, 1978	1	0,73
<i>Calliostoma rosewateri</i> Clench y Turner, 1960	15	4,38
<i>Calliostoma semisuave</i> Quinn, 1992	1	0,73
<i>Calliostoma serratum</i> Quinn, 1992	4	2,19
<i>Calliostoma</i> sp.	1	0,73
<i>Calliostoma</i> sp.	1	0,73
<i>Calliotropis lissocona</i> (Dall, 1881)	3	1,46
<i>Cataegis toreuta</i> McLean y Quinn, 1987	12	4,38
<i>Gaza olivacea</i> Quinn, 1991	470	11,68
<i>Gaza watsoni</i> (Dall, 1881)*	2	0,73
<i>Gaza</i> spp.	26	3,65
<i>Solariella lubrica</i> (Dall, 1881)*	148	7,30
<i>Solariella</i> spp.	13	3,65
Skeneidae Thiele, 1929		
<i>Parviturbo</i> sp.	1	0,73
Superorden Caenogastropoda Cox, 1960		
Orden Sorbeoconcha Ponder y Lindberg, 1997		
Cerithiidae Fleming, 1822		
<i>Varicopeza crystallina</i> (Dall, 1881)*	63	9,49
Turritelidae Lovén, 1847		
<i>Turritella exoleta</i> (Linné, 1758)	53	3,65
Turritelidae Lovén, 1847		
<i>Vermicularia spirata</i> (Philippi, 1836)	165	2,19
Siliquariidae Anton, 1839		
<i>Siliquaria modesta</i> Dall, 1881	33	8,76
Modulidae Fischer, 1884		
<i>Modulus modulus</i> (Linné, 1758)	4	2,92
Rissoidae Gray, 1847		
<i>Microstelma gabbi</i> (Dall, 1889)*	1	0,73
<i>Microstelma ventalis</i> (Rehder, 1943)	2	0,73
<i>Rissoina cancellata</i> Philippi, 1847	37	11,68
<i>Rissoina decussata</i> (Montagu, 1803)	4	2,19

## Continuación Anexo 3.

Taxón	Número de individuos	% Frecuencia
Vitrinellidae Bush, 1897		
<i>Cyclostremiscus</i> sp.	5	1,46
<i>Teinostoma</i> cf. <i>cocolitoris</i> Pilsbry y McGinty, 1945	1	0,73
<i>Vitrinella</i> sp.	3	1,46
Strombidae Rafinesque, 1815		
<i>Strombus pugilis</i> Linné, 1758	5	1,46
<i>Strombus</i> sp.	3	2,19
Hipponicidae Troschel, 1861		
<i>Cheilea equestris</i> (Linné, 1758)	87	14,60
Calyptraeidae Blainville, 1824		
<i>Calyptraea centralis</i> (Conrad, 1841)	85	5,84
<i>Crucibulum mareense</i> Weisbord, 1962	10	5,11
<i>Crucibulum planum</i> Schumacher, 1817	2	1,46
<i>Crucibulum</i> cf. <i>striatum</i> (Say, 1826)	5	2,92
Capulidae Fleming, 1822		
<i>Capulus incurvatus</i> (Gmelin, 1791)	2	1,46
<i>Capulus</i> sp.	305	21,17
<i>Capulus</i> sp. 2	6	1,46
<i>Hyalorisia galea</i> Dall, 1889*	10	5,11
Xenophoridae Troschell, 1852		
<i>Xenophora caribaeum</i> Petit, 1856	2	1,46
<i>Xenophora conchyliophora</i> Born, 1870	11	3,65
<i>Xenophora longleyi</i> Bartsch, 1931	302	18,98
Vermetidae Rafinesque, 1815		
<i>Petalococonchus erectus</i> (Dall, 1888)	252	2,92
Cypraeidae Rafinesque, 1815		
<i>Cypraea cinerea</i> Gmelin, 1791	5	0,73
<i>Cypraea spurca acicularis</i> Gmelin, 1791	1	0,73
Ovulidae Fleming, 1822		
<i>Pseudocyphoma intermedium</i> (Sowerby, 1828)	5	2,92
<i>Pseudosimnia vanhyningi</i> (Smith, 1940)*	2	1,46
Triviidae Trochel, 1863		
<i>Trivia nix</i> Schilder, 1922	10	4,38
Velutinidae Gray, 1850		
<i>Lamellaria perspicua</i> (Linné, 1758) mal ubicada	1	0,73
Naticidae Guilding, 1834		
<i>Natica cayennensis</i> (Récluz, 1850)	5	1,46
<i>Natica guesti</i> Harasewych y Jensen, 1984	7	5,11
<i>Natica</i> sp. 1	2	1,46
Naticidae sp.	4	2,19
<i>Sinum maculatum</i> (Say, 1831)	5	1,46
<i>Sinum perspectivum</i> (Say, 1831)	3	2,19

## Continuación Anexo 3.

Taxón	Número de individuos	% Frecuencia
<i>Polinices</i> sp.	12	5,84
Cassidae Latreille, 1825		
<i>Cypraecassis testiculus</i> (Linné, 1758)	1	0,73
<i>Dalium solidum</i> Dall, 1889	1	0,73
<i>Oocorys bartschi clericus</i> Quinn, 1980	11	3,65
<i>Phalium coronadoi</i> (Crosse, 1867)	1	0,73
<i>Sconsia striata</i> (Lamarck, 1816)*	1	0,73
Ranellidae Gray, 1854		
<i>Cymatium krebsii</i> (Mörch, 1877)	2	1,46
<i>Cymatium</i> sp.	1	0,73
<i>Distorsio clathrata</i> (Lamarck, 1816)	13	3,65
<i>Distorsio mcgintyi</i> Emerson y Puffer, 1953	3	2,19
<i>Distorsio</i> sp.	5	0,73
<i>Distorsio</i> sp. 2	2	1,46
Tonnidae Suter, 1913		
<i>Eudolium bairdii</i> (Verrill y Smith, 1881)	8	3,65
<i>Eudolium crosseanum</i> (Monterosato, 1869)	13	8,03
<i>Eudolium</i> sp.	2	1,46
<i>Tonna galea</i> (Linné, 1758)	12	5,11
Atlantidae Rang, 1829		
<i>Atlanta peronii</i> Lesueur, 1817	38	10,22
Janthinidae Lamarck, 1812		
<i>Janthina</i> sp.	1	0,73
Epitoniidae Berry, 1910		
<i>Epitonium krebsii</i> (Mörch, 1875)	1	0,73
<i>Epitonium novangliae</i> (Couthouy, 1838)	9	4,38
<i>Opalia burryi</i> Clench y Turner, 1950	6	3,65
<i>Stenorythis pernobilis</i> (Fischer y Bernardi, 1857)*	2	0,73
Eulimidae Philippi, 1853		
<i>Melanella intermedia</i> (Cantraine, 1835)	3	2,19
<i>Niso aeglees</i> Bush, 1885	7	4,38
Muricidae Rafinesque, 1815		
<i>Calotrophon cf. philippiana</i> (Dall, 1889)	4	1,46
<i>Calotrophon velero</i> (Vokes, 1970)	6	2,19
<i>Chicoreus brevifrons</i> (Lamarck, 1822)	5	3,65
<i>Chicoreus</i> sp.	1	0,73
<i>Favartia</i> sp.	1	0,73
<i>Laevityphis bullisi</i> Gertman, 1969	20	2,19
<i>Laevityphis</i> sp.	2	1,46
<i>Murex consuelae</i> Verrill, 1950	2	1,46
<i>Murex chrysostoma</i> (Sowerby, 1834)	1	0,73
<i>Murex donmoorei</i> (Bullis, 1964)	1	0,73

## Continuación Anexo 3.

Taxón	Número de individuos	% Frecuencia
<i>Murex messorius</i> Sowerby II, 1841	1	0,73
<i>Murex olssoni</i> Vokes, 1967	49	13,14
<i>Murex</i> sp.	3	0,73
<i>Murex</i> spp.	14	2,19
Muricidae spp.	59	11,68
<i>Paziella oregonia</i> (Bullis, 1964)	37	7,30
<i>Poirieria actinophora</i> (Dall, 1889)	30	7,30
<i>Siratus beauui</i> (Fischer y Bernardi, 1857)	37	10,22
<i>Siphonochelus riosi</i> (Bertsch y D'Attilio, 1980)*	2	0,73
<i>Siphonochelus tityrus</i> (Bayer, 1971)*	57	12,41
<i>Trachypollia didyma</i> Schwengel, 1943	7	2,19
<i>Trophon lacunellus</i> Dall, 1889*	14	2,92
<i>Typhis jardinreinensis</i> Espinosa, 1985*	1	0,73
<i>Typhis</i> sp.	3	0,73
<i>Coralliophila caribaea</i> Abbott, 1958	1	0,73
<i>Coralliophila squamosa</i> (Bivona, 1838)*	5	2,92
<i>Babelomurex dalli</i> (Emerson y D'Attilio, 1963)*	4	2,19
<i>Babelomurex mansfieldi</i> (McGinty, 1940)	3	2,19
<i>Babelomurex tectumsinense</i> (Deshayes, 1856)	4	2,19
Turbinellidae Swainson, 1840		
<i>Fulgurofusus brayi</i> (Clench, 1959)	84	18,25
<i>Latiromitra</i> sp.	1	0,73
Buccinidae Rafinesque, 1815		
<i>Antillophos chazaliei</i> (Dautzemberg, 1900)	339	17,52
<i>Antillophos</i> sp.	42	12,41
<i>Manaria canetae</i> (Clench y Aguayo, 1944)*	6	1,46
<i>Manaria fusiformis</i> (Clench y Aguayo, 1941)	5	2,92
<i>Metula guppyi</i> Olsson y Bayer, 1972	1	0,73
<i>Metula</i> sp.	2	1,46
<i>Mohnia</i> sp.	44	6,57
<i>Pisania karinae</i> (Usticke, 1959)	2	0,73
<i>Ptychosalpinx</i> sp.	1	0,73
Columbellidae Swainson, 1840		
<i>Anachis helena</i> (Costa, 1983)	1	0,73
<i>Anachis</i> sp.	9	2,92
<i>Cosmioconcha calliglypta</i> (Dall y Simpson, 1901)	4	1,46
<i>Cosmioconcha nitens</i> (Adams, 1850)	303	20,44
<i>Cosmioconcha</i> sp.	209	5,11
<i>Suturoglypta procera</i> Simone y Gracia, 2006	5	1,46
Nassariidae Iredale, 1916		
<i>Nassarius consensus</i> (Ravenel, 1861)	16	4,38
<i>Nassarius hotessieri</i> (d'Orbigny, 1845)	7	3,65

## Continuación Anexo 3.

Taxón	Número de individuos	% Frecuencia
<i>Nassarius scissuratus</i> (Dall, 1889)	7	3,65
<i>Nassarius</i> sp.	69	8,76
Fasciariidae Gray, 1853		
<i>Colubraria lanceolata</i> (Menke, 1828)	4	2,92
<i>Dolicholairus pauli</i> (McGinty, 1955)	1	0,73
<i>Fasciolaria tulipa</i> Linné, 1758	1	0,73
<i>Fusinus lightbourni</i> Snyder, 1984*	4	1,46
<i>Harasewychia harasewychi</i> Petuch, 1987	5	3,65
<i>Latirus infundibulum</i> (Gmelin, 1791)	8	2,92
<i>Latirus mcgintyi</i> Pilsbry, 1939	3	1,46
Volutidae Rafinesque, 1815		
<i>Scaphella</i> sp.	1	0,73
Olividae Latreille, 1825		
<i>Ancilla glabrata</i> (Linné, 1758)	1	0,73
<i>Oliva scripta</i> Lamarck, 1811	2	1,46
<i>Olivella acteocina</i> Olsson, 1956	15	2,92
<i>Olivella lactea</i> (Marrat, 1871)	14	3,65
<i>Olivella myrmecoön</i> Dall, 1912	1476	24,09
<i>Olivella olssoni</i> Altena, 1975	14	4,38
<i>Olivella</i> sp. 1	1	0,73
Marginellidae Fleming, 1828		
<i>Dentimargo</i> sp.	1	0,73
<i>Marginella hematita</i> Kiener, 1834	28	5,84
<i>Persicula pulcherrima</i> (Gaskoin, 1849)	9	1,46
<i>Prunum marginatum</i> (Born, 1778)	6	1,46
<i>Volvarina avena</i> (Kiener, 1834)	5	1,46
<i>Volvarina hennequini</i> Boyer, 2001*	11	4,38
<i>Volvarina monicae</i> Díaz, Espinosa y Ortega, 1996	3	2,19
<i>Volvarina</i> sp.4	5	0,73
<i>Volvarina</i> spp.	336	17,52
Mitridae Swainson, 1831		
<i>Mitra</i> cf. <i>straminea</i> Adams, 1853	2	0,73
<i>Subcancilla leonhardhilli</i> Petuch, 1987	5	2,92
Volutomitridae Gray, 1854		
<i>Conomitra leonardhilli</i> Petuch, 1987*	15	3,65
<i>Volutomitra erebus</i> Bayer, 1971	11	5,11
Costellariidae MacDonal, 1860		
<i>Vexillum laterculata</i> (Sowerby, 1874)	3	1,46
<i>Vexillum styria</i> (Dall, 1889)*	39	8,03
Turridae Swainson, 1840		
<i>Agladrillia</i> sp.	4	0,73
<i>Agladrillia</i> sp. 2	3	1,46

## Continuación Anexo 3.

Taxón	Número de individuos	% Frecuencia
<i>Agladrillia</i> sp. 1	5	1,46
<i>Benthomangelia</i> sp.	13	5,84
<i>Bellaspira pentagonalis</i> (Dall, 1889)	1	0,73
<i>Carinodrillia</i> sp.	2	0,73
<i>Compsodrillia</i> sp.	1	0,73
<i>Cochlespira elegans</i> (Dall, 1881)	5	2,19
<i>Cochlespira radiata</i> Dall, 1889*	9	6,57
<i>Compsodrillia gundlachi</i> (Dall y Simpson, 1901)*	47	6,57
<i>Compsodrillia tristicha</i> (Dall, 1889)*	8	5,11
<i>Cryptogemma</i> sp.	25	8,03
<i>Daphnella lymneiformis</i> (Kiener, 1840)	1	0,73
<i>Daphnella margaretae</i> (Lyons, 1972)	5	2,19
<i>Douglassia enae</i> Bartsch, 1934	13	0,73
<i>Doxospira horrenda</i> (Watson, 1886)*	1	0,73
<i>Drillia minor</i> (Dautzemberg, 1900)	4	2,92
<i>Drillia smirna</i> (Dall, 1881)	4	2,19
<i>Drillia</i> sp. 1	4	0,73
<i>Drilliola loprestiana</i> (Calcara, 1841)*	139	18,25
<i>Drilliola</i> sp.	16	6,57
<i>Fusiturricula enae</i> Bartsch, 1934*	12	5,84
<i>Gemmula periscelida</i> (Dall, 1889)	9	3,65
<i>Glyphostoma epicasta</i> Bartsch, 1934*	3	2,19
<i>Glyphostoma gabbii</i> Dall, 1889*	88	17,52
<i>Glyphostoma jousseaumei</i> (Dautzemberg, 1900)	3	2,19
<i>Glyphostoma claudoni</i> (Dautzemberg, 1900)	1	0,73
<i>Glyphostoma rioensis</i> (E.A. Smith, 1915)*	1	0,73
<i>Hindsiclava alesidota</i> (Dall, 1889)*	11	0,73
<i>Hindsiclava polytorta</i> (Dall, 1881)*	9	3,65
<i>Lepicythara cymella</i> (Dall, 1889)*	12	4,38
<i>Leptadrillia albicoma</i> Dall, 1889*	1	0,73
<i>Leptadrillia splendida</i> (Bartsch, 1934)	1	0,73
<i>Leucosyrinx subgrundifera</i> (Dall, 1888)*	3	0,73
<i>Leucosyrinx verrillii</i> (Dall, 1881)*	59	13,87
<i>Lioglyphostoma hendersoni</i> (Bartsch, 1934)	4	1,46
<i>Mangelia serga</i> (Dall, 1881)	1	0,73
<i>Microdrillia subsida</i> (Dall, 1881)*	2	1,46
<i>Mitrolumna biplicata</i> (Dall, 1889)	197	10,22
<i>Pyrgocythara lavalleana</i> (d'Orbigny, 1848)	1	0,73
<i>Pyrgospira ostrearum</i> (Stearns, 1872)	11	0,73
<i>Pyrgospira</i> sp. 1	1	0,73
<i>Pyrgospira</i> sp. 2	1	0,73
<i>Polystira albida</i> (G. Perry, 1811)	193	19,71

## Continuación Anexo 3.

Taxón	Número de individuos	% Frecuencia
<i>Polystira tellea</i> (Dall, 1889)*	195	18,98
<i>Polystira</i> sp.	9	2,19
<i>Stenodrillia</i> sp.	1	0,73
<i>Splendrillia moseri</i> (Dall, 1889)	2	0,73
<i>Syntomodrillia lissotropis</i> (Dall, 1881)*	30	8,03
<i>Thatcherina diazi</i> Gracia y Vera-Peláez, 2004	1	0,73
Turridae spp.	60	15,33
Terebridae Mörch, 1852		
<i>Terebra colombiensis</i> Simone y Gracia, 2006	9	1,46
Conidae Fleming, 1822		
<i>Conus austini</i> Rehder y Abbott, 1951	12	4,38
<i>Conus daucus</i> Hwass, 1792	1	0,73
<i>Conus granarius</i> Kiener, 1845	4	2,19
<i>Conus mazei</i> Deshayes, 1874	12	4,38
<i>Conus villepini</i> Fischer y Bernardi, 1857*	2	1,46
<i>Conus</i> sp.1	1	0,73
Superorden Heterobranchia Gray, 1840		
Posición incierta		
Acteonidae d'Orbigny, 1842		
<i>Acteon danaida</i> Dall, 1881	1	0,73
Mathildidae Dall, 1889		
<i>Mathilda barbadensis</i> Dall, 1889	8	4,38
Architectonicidae Gray, 1850		
<i>Architectonica nobilis</i> (Röding, 1798)	5	2,92
<i>Calodisculus retiferus</i> (Dall, 1892)	1	0,73
<i>Discotectonica discus</i> Phillipi, 1844*	1	0,73
Pyramidellidae Gray, 1840		
<i>Turbonilla hemphilli</i> Bush, 1899	1	0,73
Ringiculidae Philippi, 1853		
<i>Ringicula nitida</i> Verrill, 1873*	1	0,73
Orden Opisthobranchia Milne-Edwards, 1848		
Clado Cephalaspidea		
Bullidae Gray, 1827		
<i>Bulla striata</i> Bruguière, 1792	5	3,65
<i>Bulla</i> sp.	4	2,19
Haminoeidae Pilsbry, 1895		
<i>Atys riiseana</i> (Mörch, 1875)	21	7,30
<i>Haminoea</i> sp.	1	0,73
Philinidae Gray, 1850		
<i>Philine alba</i> Mattox, 1958	28	2,92
<i>Philine infundibulum</i> Dall, 1889	21	1,46
<i>Philine</i> sp.	26	5,11

## Continuación Anexo 3.

Taxón	Número de individuos	% Frecuencia
Cylichnidae H. y A. Adams, 1854		
<i>Scaphander watsoni rehderi</i> Bullis, 1956	84	22,63
Retusidae Thiele, 1925		
<i>Volvulella persimilis</i> (Mörch, 1875)	11	6,57
Clado Thecosomata		
Cavoliniidae Gray, 1850		
<i>Diacria major</i> (Boas, 1886)	32	3,65
<i>Diacria trispinosa</i> (Blainville, 1821)	25	2,92
<i>Cavolinia gibbosa</i> (d'Orbigny, 1831)	44	5,11
<i>Cavolinia tridentata</i> (Niebuhr, 1775)	426	8,76
<i>Cavolinia uncinata</i> (Rang, 1829)	52	4,38
<i>Clio pyramidata</i> Linné, 1767	265	3,65
<i>Cuvierina columnella</i> (Rang, 1827)	14	4,38
Clado Aplysiomorpha		
Aplysiidae Rafinesque, 1815		
<i>Aplysia</i> sp.	1	0,73
Clado Nudipleura		
Pleurobranchidae de Férussac, 1822		
<i>Pleurobranchus areolatus</i> Mörch, 1863*	1	0,73
<i>Pleurobranchaea inconspicua</i> Bergh, 1897*	49	5,11
Clade Euctenidiacea		
Chromodorididae Bergh, 1891		
<i>Hypselodoris bayeri</i> (Marcus y Marcus, 1967)*	1	0,73
Clado Cladobranchia		
Arminidae Iredale y O'Donoghue, 1923		
<i>Armina elongata</i> Ardila y Valdés	1	0,73
<i>Armina juliana</i> Ardila y Díaz, 2002	2	1,46
<i>Armina muelleri</i> (Ihering, 1886)*	1	0,73
Tritoniidae Lamarck, 1809		
<i>Marionia cucullata</i> Marcus, 1983*	3	1,46
Bornellidae Fischer, 1883		
<i>Bornella calcarata</i> Mörch, 1863	1	0,73
Opisthobranchia sp.	1	6,57



# 7

## CRUSTÁCEOS DECÁPODOS DEL CARIBE COLOMBIANO

*Néstor Hernando Campos<sup>1</sup>, Natalia Rodríguez-Salcedo<sup>2\*</sup> y Adriana Bermúdez<sup>3\*\*</sup>*

1. Universidad Nacional de Colombia Sede Caribe- CECIMAR/Invemar, Cerro de Punta Betín, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: [nhcamposc@unal.edu.co](mailto:nhcamposc@unal.edu.co)

2. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – Invemar, Cerro Punta Betín, Santa Marta, Colombia.

\* Dirección actual: Universidad de Delft, Holanda. Correo electrónico: [nataro@gmail.com](mailto:nataro@gmail.com)

3. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – Invemar, Cerro Punta Betín, Santa Marta, Colombia.

\*\*Dirección actual: Universidad de Cartagena, Colombia. Correo electrónico: [abermudezt@unicartagena.edu.co](mailto:abermudezt@unicartagena.edu.co)

**Figura separador:** *Pyromaia acanthina*. Fotografía: Adriana Bermúdez T.

## RESUMEN

Los crustáceos decápodos constituyen uno de los grupos más conspicuos dentro del Phylum Arthropoda, y son ampliamente reconocidos por desempeñar papeles ecológicos importantes en diversos ambientes terrestres, dulceacuícolas y marinos. En estos últimos son parte fundamental en los niveles tróficos intermedios, incluyendo dentro de éstas, las especies de krill la fuente principal de alimento de las ballenas. Muchas especies son el recurso base de la industria pesquera y acuícola, como los camarones de aguas someras y profundas. Así mismo se constituyen en el soporte de stocks de peces de interés comercial como pargos y róbalo.

En el mar Caribe colombiano se han registrado hasta la fecha más de 600 especies de decápodos marinos y costeros. A nivel local los grupos de mayor abundancia son los camarones del superorden Pleocyemata, de los infraórdenes Caridea y Stenopodidea. Los carídeos son uno de los grupos con mayor número de familias dentro de los decápodos junto con los cangrejos verdaderos del infraorden Brachyura. Otro grupo de interés lo constituyen las langostas de los infraórdenes Astacidae y Palinura. Grupos menores, pero no menos importantes, son los camarones fantasma del Infraorden Thalassinidea y los falsos cangrejos y los ermitaños del infraorden Anomura.

**Palabras clave:** *Crustáceos, Decápodos, Caribe colombiano, Biodiversidad marina.*

## ABSTRACT

Decapod crustaceans are one of the most conspicuous invertebrates among the phylum Arthropoda. Crustaceans play important ecological roles in diverse terrestrial, marine and freshwater habitats. In marine habitats they are fundamental components of intermediate trophic levels, several species of krill are the main food

source for whales. Many other species are basic resources for industrial fisheries as shrimps from deep and shallow waters. They also constitute food for important fish stocks of commercial interest as sea bass and snappers. In the Caribbean Sea more than 600 marine and coastal decapods species have been registered up to date. In a local level Shrimps from order Pleocyemata, Infraorder Caridea and Stenopodidea are the groups that show the greatest abundance. Caridea are one of the groups with a greater number of families within the decapoda next to true crabs from infraorder Brachyura. Other groups of interest are constituted by lobsters of Infraorders Astacidae and Palinura. Other important minor groups are Ghost crabs from infraorder Thalassinidea, false crabs and hermits from infraorder Anomura.

**Key words:** *Decapod Crustaceans, Colombian Caribbean, Marine Biodiversity.*

## INTRODUCCIÓN

El Phylum Arthropoda reúne una gran cantidad de especies de animales invertebrados dentro de las que se encuentran los insectos como mariposas, libélulas y zancudos; los miriápodos conocidos también como ciempiés o milpiés; las arañas del grupo de los arácnidos, y en los ambientes acuáticos el grupo más diverso lo constituye el subphylum Crustacea. Ningún otro grupo de plantas o animales muestra la diversidad morfológica y biológica que presentan los crustáceos (Martin y Davis 2001). Se pueden encontrar en hábitats terrestres, semiterrestres y acuáticos, tanto en aguas dulces como marinas, desde las fosas hidrotermales de los mares profundos a 5000 m de profundidad (inclusive en la fosa de las Marianas a 11000 m) hasta los litorales (Baba 2005, Baba *et al.* 2008). Se les puede encontrar en casi cualquier región de la tierra, incluyendo los mares circumpolares y las aguas cálidas de los mares tropicales, incluyendo

el mar Caribe y los desiertos, a este grupo pertenece el invertebrado terrestre más grande conocido, el cangrejo ermitaño de los cocoteros (*Birgus latro*), el cual puede llegar a pesar más de 4 Kg de peso. Muchas especies son de vida libre, otras sésiles, y las hay también parásitas. En el caso de las especies del superorden Rhizocephala los cambios morfológicos son tan extremos que no son fácilmente reconocibles como pertenecientes al grupo. Los crustáceos más reconocidos son los pertenecientes al orden Decapoda debido a su ocurrencia frecuente en los ambientes marinos y costeros de vastas áreas continentales e insulares, así como por su importancia como producto pesquero. A este orden pertenecen las especies de los subórdenes Dendrobranchiata conocidos como camarones, y las especies del suborden Pleocyemata el cual incluye a camarones y camarones limpiadores de los infraórdenes Caridea y Stenopodidea, las langostas de los infraórdenes Palinura y Astacidea, los cangrejos ermitaños y los cangrejos fantasma de los infraórdenes Anomura y Thalassinidea, estos últimos caracterizados por sus abdómenes blandos. Entre los anomuros tal vez una de las estrategias más llamativas la muestran los ermitaños, los cuales han desarrollado mecanismos de protección muy particulares como el uso de conchas vacías de moluscos, trozos de madera y materiales huecos; incluso presentan asociaciones simbióticas con anémonas en las que la anémona proporciona protección contra depredadores y camuflaje, mientras que la anémona aprovecha los desechos y desplazamientos del ermitaño para acceder a ambientes con mayor disponibilidad de recursos alimenticios. Por su parte, los camarones fantasma crean cámaras amplias subterráneas en donde se refugian y capturan su alimento. Los cangrejos verdaderos se agrupan en el infraorden Brachyura, el cual se considera el grupo más diverso dentro de los decápodos, al agrupar gran variedad de familias, géneros y especies.

En el Caribe colombiano se han identificado al menos 614 especies de decápodos (Anexo 1) de las cuales

la mayoría han sido reportadas en los últimos 20 años por expediciones marinas internacionales y proyectos de investigación llevados a cabo por grupos nacionales. A nivel histórico se puede decir que uno de los primeros estudios carcinológicos del Caribe colombiano fue publicado por Pearse (1916); en este documento el autor describe las características generales de la región de Santa Marta y se hace un análisis sobre el uso de los diferentes hábitats por parte de las especies más conspicuas identificadas durante la expedición “Walker”, concentrándose en las especies litorales y terrestres de las zonas de Santa Marta y Fundación, listando 10 especies de decápodos marinos. Unos años después, en 1938, el gobierno estadounidense realizó por orden del presidente de ese entonces, Franklin D. Roosevelt, una expedición que exploró las costas de baja California, México, Costa Rica, Ecuador, y atravesando el canal de Panamá llegó hasta el archipiélago de San Andrés y Providencia en el Caribe colombiano (Schmitt 1939). Los resultados más sobresalientes evidencian un gran número de especies en los archipiélagos colombianos, ya que de las 110 especies registradas durante la expedición (“Presidente”) 41 fueron colectadas en esta zona insular del Caribe colombiano. Otras investigaciones internacionales llevadas a cabo durante el siglo XX exploraron parte del territorio nacional en busca de fósiles de decápodos (Rathbun 1937, Beurlen 1938) y otras se centraron en estudios de especies actuales, la mayoría de ellas para describir especies nuevas, como por ejemplo los trabajos de Mayo (1972), quien describe a *Anomoeomunida caribensis*, inicialmente denominada como *Phylladiorhynchus caribensis*, a partir de ejemplares colectados durante las expediciones del *R/V Pillsbury* (Staiger 1968) en las costas de la península de la Guajira colombiana a 11 m de profundidad.

Las exploraciones realizadas por iniciativas nacionales y con una amplia participación de carcinólogos, han sido realizadas por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis” (In-

vermar) en cooperación con diferentes instituciones nacionales e internacionales, tales como el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Mavdt), Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias), Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas de la Dirección General Marítima (CIOH), las Corporaciones Autónomas Regionales de La Guajira (Corpoguajira), del Valle del Cauca (CVC) y de San Andrés y Providencia (Coralina), la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Universidad Javeriana, Universidad de los Andes, la universidad Justus Liebig Universität (Alemania) y el Instituto Smithsonian (U.S.A.), entre otras. Producto de estos trabajos se han actualizado los listados de especies de decápodos marinos del Caribe colombiano y se han divulgado los resultados a través de diferentes medios como seminarios, notas en periódicos nacionales, videos divulgativos, revistas científicas e incluso permitieron la publicación del Catálogo de Crustáceos de Profundidad (Campos *et al.* 2005) y la clasificación de las especies más vulnerables las cuales fueron incluidas en el Libro Rojo de especies amenazadas de Colombia (Bermúdez *et al.* 2002). Adicionalmente, estas exploraciones han permitido el registro de especies por primera vez para el Caribe colombiano (Pearse 1916, Vélez 1978, Corredor *et al.* 1979, Prahly y Manjarrés 1982, Rodríguez 1982, Prahly 1983, Campos y Manjarrés 1988, Campos y Türkay 1989, Campos y Manjarrés 1990, Werding y Müller 1990b, c, Campos y Manjarrés 1991, Campos y Werding 1991, Campos y Puentes 1992, Garzón-Ferreira 1992, Campos y Cortés 1994, Campos y Cortés 1995, Navas y Campos 1998, Cruz *et al.* 2002, Navas *et al.* 2003, Werding *et al.* 2003, Bermúdez *et al.* 2005), la descripción de nuevas especies de diversos grupos (Mayo 1972, Werding 1978, Criales 1981, Werding 1982, 1983, Werding y Müller 1990a, Lemaitre y Almeida-Rodrigues 1991, Lemaitre y Campos 1993, Manning 1993, Campos y Lemaitre

1994, Campos y Sanchez 1995, Ramos 1995, Lemaitre y Felder 1996, Criales 1997, Lemaitre y Bermúdez 2000, Lemaitre *et al.* 2001, Werding y Kraus 2002, Lemaitre y Cruz 2004, Anker *et al.* 2007), la descripción del género nuevo *Nancyplax* a partir de la también especie nueva *N. vossi* (Lemaitre *et al.* 2001), y la descripción de ecosistemas, hábitats, subpoblaciones e incluso flujos genéticos entre especies de crustáceos decápodos (Bula-Meyer 1977, Criales 1977, Vélez 1977, Prahly 1983, Puentes *et al.* 1990, López y Arango 1992, Puentes y Campos 1992, Campos 1995, Guzmán-Alvis y Díaz 1996, Córdoba 1997, López 1997, Moreno-Forero *et al.* 1998, Navas *et al.* 1998, Cortés y Campos 1999, Navas *et al.* 1999, Franke 2001, Guzmán-Alvis *et al.* 2001, Arboleda 2002, Ariza 2002, Jaramillo *et al.* 2002, , Werding *et al.* 2003, Varila-Vargas 2004, Bermúdez 2005, Bermúdez *et al.* 2007, Gutiérrez-Salcedo *et al.* 2007, Ángel 2009). Entre las exploraciones más recientes, se encuentran las cofinanciadas por Colciencias, Mavdt y la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), que han permitido la recolecta de una cantidad considerable de ejemplares, que se constituyeron en nuevos registros y nuevas especies, indicando que aun los inventarios del grupo de los crustáceos decápodos están lejos de completarse.

Actualmente se conocen 614 especies de crustáceos decápodos presentes en aguas colombianas, pertenecientes a 81 familias lo que corresponde al 49,4% de las familias del orden a nivel mundial, éstas a su vez se calculan aproximadamente en 152 a nivel global (Tabla 1).

A continuación se presenta una síntesis de los distintos grupos de crustáceos siguiendo un orden filogenético. Para cada grupo se presenta una breve descripción morfológica y se muestra el número de géneros y especies registradas en el Caribe colombiano.

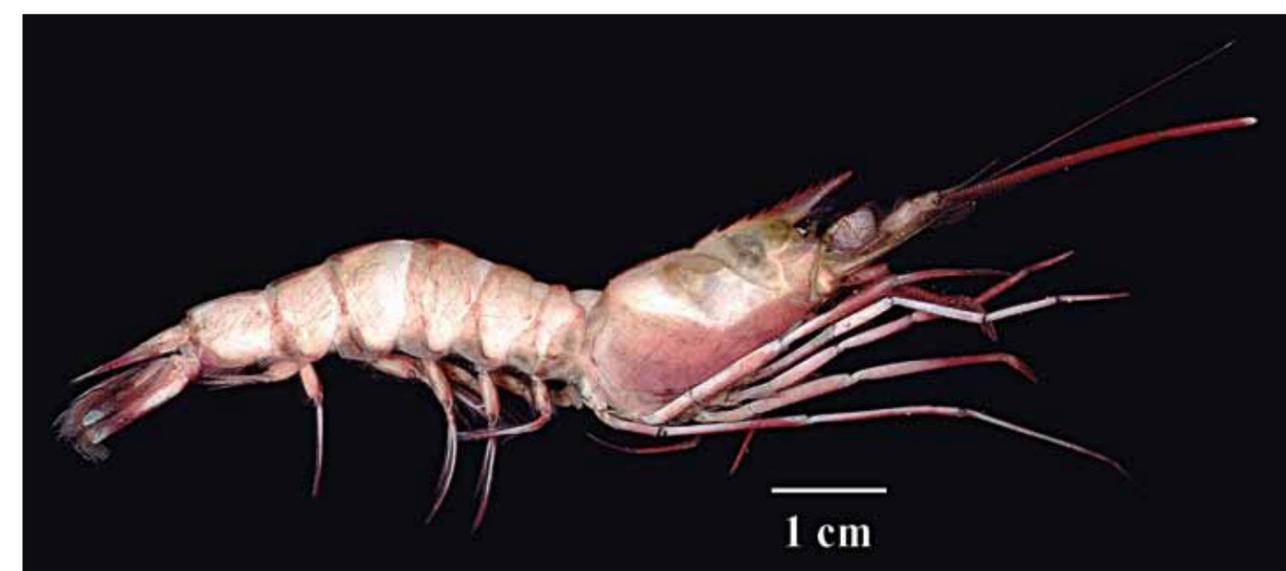
**Tabla 1.** Tabla comparativa del número de familias para los principales grupos de crustáceos decápodos a nivel mundial (Martin y Davis 2001) en comparación con el número de familias registradas en el Caribe colombiano; se presentan los porcentajes de familias a nivel mundial y para el Caribe colombiano y el porcentaje de abundancia. Relación de familias por infraorden, presentes en Colombia frente al número a nivel mundial

Grupo	# Fam. Mundo	# Fam. Caribe	% Mundial	% Colombia	% Abundancia
Dendrobranchiata	7	5	4,27	6,17	71,4
Stenopodidea	2	1	1,22	1,23	50
Caridea	36	16	21,95	19,75	26,7
Astacidea	7	2	4,27	2,47	28,6
Thalassinidea	11	4	6,71	4,94	36,4
Palinura	4	4	2,44	4,94	100,0
Anomura	13	9	7,93	11,11	69,2
Brachyura	84	40	51,22	49,38	47,6
<b>TOTAL</b>	<b>164</b>	<b>81</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	

## SUBORDEN DENDROBRANCHIATA

El suborden Dendrobranchiata lo componen las especies de camarones más primitivos, caracterizados por poseer dendrobranquias, las cuales se ramifican a partir de un eje lateral principal. Este suborden agrupa siete familias, 56 géneros y un número aproximado de 500 especies en los mares del mundo. La familia Penaeidae

contiene la mayor parte de las especies que se consumen comercialmente en el trópico y subtropico alrededor del mundo, por lo que en términos económicos constituyen una importante fuente de ingresos para muchos países. Presentan una distribución global amplia y se pueden encontrar desde aguas someras hasta zonas abisales llegando incluso a encontrarse por debajo de los 500 m de profundidad en donde las familias Aristeidae, Benthe-



**Figura 1.** Ejemplar de la especie *Solenocera vioscai*, camarón perteneciente al suborden Dendrobranchiata colectado durante el proyecto Macrofauna I.

sicyonidae y Sergestidae son las predominantes (Pérez-Farfante y Kensley 1997).

El suborden Dendrobranchiata posee caracteres diagnósticos adicionales como la presencia de un protocéfalo (parte anterior del cuerpo en donde se ubican los ojos) que consiste de la placa ocular y la región epistomial. El epistomio (placa transversal anterior al área de la boca) está dividido por invaginaciones membranosas. Región gástrica bien desarrollada, con dientes mediales fuertes, y dientes laterales bien desarrollados. Tercer par de maxilípedos en forma de pereiópodos, primeros tres pares de pereiópodos usualmente quelados (excepto en algunos Sergestoidea), tercer par delgado con dendro-

branquias. Pleura del segundo somite abdominal no superpuesta a la del primero. Primer par de pleópodos en machos con endopoditos considerablemente modificados formando un petasma; en hembras, reducidos o ausentes. Los huevos son liberados en el agua, (excepto en *Lucifer*, género en el que los huevos son retenidos por un corto período de tiempo sobre el tercer par de pereiópodos) (Pérez-Farfante y Kensley 1997).

En el Caribe colombiano se han registrado representantes de cinco familias, 12 géneros y 27 especies; siendo la familia Penaeidae la más abundante con ocho géneros y 13 especies (Tabla 2).

**Tabla 2.** Número de géneros y especies para el grupo de camarones Dendrobranchiata. Se presenta el porcentaje para los géneros y las especies en relación con el total de especies de decápodos presentes en el Caribe colombiano

Familia	# Gen	# Esp	% Gen	% Esp
Aristeidae	1	1	0,36	0,16
Penaeidae	8	13	2,92	2,12
Sicyonidae	1	7	0,36	1,14
Solenoceridae	2	5	0,73	0,81
Sergestidae	1	1	0,36	0,16

## INFRAORDEN STENOPODIDEA

El infraorden Stenopodidea es un grupo pequeño de crustáceos decápodos también llamados camarones limpiadores. Se caracterizan por poseer el tercer par de pereiópodos agrandado. Se agrupan en dos familias (Stenopodidae y Spongicolidae) y siete géneros a nivel mundial. En el Caribe colombiano sólo se encuentra la familia Stenopodidae, presente con tres géneros y cinco especies (*Stenopus semilaevis*, *Stenopus hispidus*, *Stenopus scutellatus*, *Microprosthema granatense* (Figura 2) y *Odontozoma libertae*), lo que representa el 1,1 % de los géneros y el 0,8 % del total de las especies en el Caribe colombiano (Tabla 1).



**Figura 2.** Ejemplar de la especie *Microprosthema granatense*, camarón limpiador de la familia Stenopodidae.

## INFRAORDEN CARIDEA

Este infraorden lo componen más de 2800 especies de camarones distribuidos en hábitats tanto de agua dulce como marinos. El grupo es reconocido por exhibir una de las mayores diversidades morfológicas y ecológicas (Martin y Davis 2001). Se encuentran en todos los océanos del mundo en donde presentan distintas formas de vida, se pueden encontrar asociados a esponjas, corales y poliquetos, mientras otros poseen hábitos de vida libre.

A nivel mundial se reconocen 36 familias, 361 géneros y 3108 especies (Fransen y De Grave 2009), sin embargo aún existen dificultades para la determinación de las relaciones filogenéticas dentro de los grupos debido al limitado registro fósil, la ausencia de estudios moleculares e inconsistencias en la codificación de caracteres morfológicos (Schram 1986, Christoffersen 1990).

Los camarones del infraorden Caridea se caracterizan por presentar el cuerpo generalmente comprimido lateral-

mente, rostro usualmente comprimido y aserrado, antenas casi siempre con estilocerito, escama antenal larga y lamelar, pereiópodos delgados y algunas veces presentan los dos primeros pares o un miembro quelado y robusto. Algunas veces poseen exopoditos y podobranquias siempre ubicadas sobre los tres primeros pares y nunca sobre los dos últimos pares de pereiópodos. Los machos tienen aperturas genitales en la membrana articular y pleópodos bien desarrollados. El primer somite abdominal ligeramente más pequeño que el resto, pleura del segundo somite superpuesta a la del primero y del tercero.

En el Caribe colombiano las familias Palaemonidae e Hippolitidae son las más ricas en géneros (11 y 8 respectivamente), seguidas por la familia Alpheidae con seis (Tabla 3). En cuanto a especies, la más rica es la familia Alpheidae con 39, seguida por Palaemonidae con 27. De los Caridea, las familias representadas con un solo género y una especie son: Pasiphaeidae, Bresiliidae, Eugonatonotidae, Stylodactylidae, Psalidopodidae y Parapandalidae, colectadas durante los proyectos Macrofauna I y II adelantados por el Invermar (Campos *et al.* 2003).



**Figura 3.** Ejemplar de la especie *Psalidopus barboursi*, camarón Caridea colectado durante el proyecto Macrofauna I.

**Tabla 3.** Número de géneros y especies de camarones Caridea presentes en el Caribe colombiano. Se presenta el porcentaje para los géneros y las especies en relación con el total de especies de decápodos.

Familia	# Gen	# Esp	% Gen	% Esp
Pasiphaeidae	1	1	0,36	0,16
Bresiliidae	1	1	0,36	0,16
Oplophoridae	2	2	0,73	0,33
Eugonatonotidae	1	1	0,36	0,16
Stylodactylidae	1	1	0,36	0,16
Palaemonidae	11	27	3,28	4,07
Gnathophilidae	2	2	0,73	0,33
Alpheidae	6	39	2,19	6,35
Ogyrididae	1	2	0,36	0,33
Psalidopodidae	1	1	0,36	0,16
Hippolytidae	8	20	2,92	3,26
Processidae	2	6	0,73	0,98
Parapandalidae	1	1	0,36	0,16
Pandalidae	3	11	1,09	1,79
Glyphocrangonidae	1	6	0,36	0,98
Crangonidae	4	5	1,46	0,81

### INFRAORDEN ASTACIDEA

A este grupo pertenecen las langostas con tres pares de apéndices torácicos quelados (Figura 4). Presentan cefalotórax más o menos cilíndrico. Abdomen bien desarrollado y algo deprimido dorsoventralmente. Primeros tres pares de pereiópodos quelados y grandes.

Aunque no existen pesquerías de este grupo en aguas colombianas, sus hábitos y palatabilidad las han hecho objeto de pesca indiscriminada en algunas regiones y de una sobreexplotación que pueden llegar a poner en riesgo la viabilidad de algunas de sus poblaciones.



**Figura 4.** Ejemplar de la especie *Metanephrops binghami*, langosta de la familia Nephropidae colectado durante el proyecto Macrofauna I.

**Tabla 4.** Número de géneros y especies de langostas del infraorden Astacidea. Se presenta el porcentaje para los géneros y las especies en relación con el total de especies de decápodos presentes en el Caribe colombiano.

Infraorden	Familia	# Gen	# Esp	% Gen	% Esp
Astacidea	Nephropidae	5	8	1,82	1,47
	Enoplometopidae	1	1	0,36	0,16

### INFRAORDEN PALINURA

Este infraorden agrupa las especies de langostas que presentan un cefalotórax más o menos cilíndrico; abdomen bien desarrollado y algo deprimido dorsoventralmente. Los pereiópodos pueden ser quelados o subquelados, pero el primer par en la mayoría de las especies no está agrandado. Dentro de este infraorden se incluyen las especies de los géneros *Panulirus*, con largas y pesadas antenas; las langostas chinas de los géneros *Scyllarides*, *Scyllarus* y *Parribacus*, con el caparazón aplanado y antenas amplias, cortas y aplanadas; y la especie *Palinurellus gundlachi*, único registro de un ejemplar de la familia Sinaxidae, presente en las Islas del Rosario. En el grupo de especies de aguas profundas se destacan las especies del género *Polycheles* (Figura 5), las cuales presentan caparazón ancho y deprimido y los primeros cuatro pares de pereiópodos quelados (Holthuis 1991).



**Figura 5.** Ejemplar de la especie *Polycheles sculptus*, langosta de la familia Polychelidae colectado durante el proyecto Macrofauna I.

### INFRAORDEN THALASSINIDEA

A pesar de que comúnmente se refieren a estos organismos como camarones fantasma o camarones de lodo, los Thalassinidea son crustáceos decápodos más estrechamente relacionados con los Anomura y los Brachyura que con los verdaderos camarones. Se caracterizan por vivir en madrigueras y son un componente importante de los hábitats arenosos y fangosos del mundo (Griffis y Suchanek 1991).

Los Thalassinidea contienen tres superfamilias (Axioidea; Callianassoidea (Figura 6) y Thalassinoidea) cuyo número de especies asciende a 556 pertenecientes a 96 géneros a nivel mundial. Sus miembros se encuentran ampliamente distribuidos en ambientes estuarinos y marinos desde la zona intermareal hasta más de 2500 m de profundidad (Lemaitre y Ramos 1992, Poore 1997, Dworschak 2005).

En el Caribe colombiano se han registrado 23 especies en cuatro familias: Callianassidae, Axiidae, Upogebiidae y Ctenochelidae, siendo la primera la más rica en géneros.

### INFRAORDEN ANOMURA

El infraorden Anomura o Anomala comprende un grupo de crustáceos constituido por individuos con caparazón generalmente deprimido; último esternito toráci-



**Figura 6.** Ejemplar de la especie *Callianassa sp.*, camarón fantasma de la familia Callianassidae colectado durante el proyecto Macrofauna I.

**Tabla 5.** Número de géneros y especies para las langostas del infraorden Palinura. Se presenta el porcentaje para los géneros y las especies en relación con el total de especies de decápodos presentes en el Caribe colombiano.

Infraorden	Familia	# Gen	# Esp	% Gen	% Esp
Palinura	Palinuridae	1	3	0,36	0,49
	Scyllaridae	3	6	1,09	0,98
	Synaxidae	1	1	0,36	0,16
	Polychelidae	1	3	0,36	0,49

co no fusionado; y tercer par de pereiópodos (apéndices torácicos) nunca quelado, y último par reducido y casi siempre oculto dentro de la cámara branquial. En general, la mayoría de los crustáceos anomuros poseen únicamente tres pares de patas caminadoras claramente visibles, con el último par notablemente reducido y ubicado debajo del abdomen. Este infraorden incluye las superfamilias Lomisoidea (especies de aguas dulces); Paguroidea (cangrejos ermitaños); Hippoidea y Galatheaidea (langostillas). Esta clasificación ha sido relativamente estable por las últimas tres décadas, sin embargo las relaciones internas aún son tema de debate (Martin *et al.* 2009).

Los crustáceos anomuros se agrupan en 17 familias, 222 géneros y aproximadamente 2469 especies a nivel mundial (Lemaitre y McLaughlin 2009). En el Caribe colombiano se encuentran 144 especies en 45 géneros, siendo este infraorden el tercero más abundante con nueve familias. El mayor número de géneros pertenecen a las familias Paguridae y Porcellanidae. En cuanto a riqueza de especies, las familias Porcellanidae y Galatheaidea pertenecientes a la superfamilia Galatheaidea presentan el mayor número con 34 cada una. Por otra parte la familia Coenobitidae, se presenta con un género y una especie en el Atlántico occidental; el resto de las familias están representadas por más de dos géneros y tres especies (Tabla 6).

## INFRAORDEN BRACHYURA

De todos los crustáceos, uno de los grupos más estudiados corresponde a los llamados cangrejos verdaderos

**Figura 7.** Ejemplar de la especie *Paragiopagurus sp.* cangrejo ermitaño de la familia Parapaguridae colectado durante el proyecto Macrofauna I.**Tabla 6.** Número de géneros y especies para el Infraorden Anomura presentes en el Caribe colombiano mostrando el porcentaje para los géneros y las especies en relación con el total de especies de decápodos presentes

Familia	# Gen	# Esp	% Gen	% Esp
Coenobitidae	1	1	0,36	0,16
Diogenidae	7	27	2,55	4,40
Paguridae	10	29	3,65	4,72
Parapaguridae	4	6	1,46	0,98
Porcellanidae	10	37	3,65	6,03
Hippidae	2	2	0,73	0,73
Galatheaidea	6	34	2,19	5,54
Chyrostillidae	2	3	0,73	0,49
Albuneidae	3	5	1,09	0,81

que conforman el infraorden Brachyura. Estos decápodos son el grupo más diverso de crustáceos que existe actualmente y su éxito se refleja en la colonización de ambientes tanto marinos como terrestres. Se han observado en profundidades desde los 6000 m bajo el nivel del mar hasta en montañas a 2000 metros de altura. Tienen la capacidad de sobrevivir en distintos tipos de hábitats como por ejemplo en los ecosistemas abisales de las fosas hidrotermales, estuarios y hasta en los límites de algunos desiertos. Muchas especies han evolucionado para adaptarse al hábitat terrestre teniendo que regresar al mar únicamente a desovar mientras que otras son exclusivamente de agua dulce (Ng *et al.* 2008).

A nivel mundial se conocen más de 6700 especies y subespecies en 1271 géneros y subgéneros agrupados en 93 familias y 38 superfamilias (Ng *et al.* 2008). Teniendo en cuenta que existen aún hábitats poco explorados como las fosas hidrotermales, corales de profundidad y ecosistemas de manglares, se estima que el número de especies puede aumentar.

A pesar de que la monofilia de los crustáceos Brachyura se encuentra aún en discusión, este grupo se diferencia por una serie de características como la presencia de

un cefalotórax deprimido y fusionado con el epistomio, abdomen bastante reducido y fuertemente doblado debajo del tórax, frente usualmente prominente algunas veces estrecha o triangular, con todos los esternitos torácicos fusionados. Primer par de patas generalmente quelado y de mayor tamaño que el resto de apéndices caminadores; urópodos cuando están presentes vestigiales o reducidos (Williams 1984). Sin embargo, los

**Figura 8.** Ejemplar de la especie *Iliacantha subglobosa* Cangrejo Brachyura de la familia Leucosiidae colectado durante el proyecto Macrofauna I.

**Tabla 7.** Número de géneros y especies para el infraorden Brachyura en el Caribe colombiano. Se presenta el porcentaje para los géneros y las especies en relación con el total de especies de decápodos

Familia	# Gen	# Esp	% Gen	% Esp
Dromiidae	2	2	0,73	0,33
Cymonomoidae	2	2	0,73	0,33
Cyclodorippidae	3	4	1,09	0,65
Homolidae	1	1	0,36	0,16
Latreilliidae	1	1	0,36	0,16
Raninidae	4	7	1,46	1,14
Ethusidae	1	2	0,36	0,33
Leucosiidae	10	15	3,65	2,44
Calappidae	5	10	1,82	1,63
Hepatidae	1	1	0,36	0,16
Aethridae	1	3	0,36	0,49
Inachoididae	7	12	2,55	1,95
Inachidae	3	10	1,09	1,63
Epialtidae	11	18	4,01	2,93
Majidae	9	29	3,28	4,72
Parthenopidae	11	15	4,01	2,44
Atelecyclidae	1	1	0,36	0,16
Portunidae	8	24	2,92	3,91
Geryonidae	1	1	0,36	0,16
Xanthidae	17	23	6,20	3,75
Carpiliidae	2	2	0,73	0,33
Domeciidae	1	1	0,36	0,16
Eriphiidae	1	1	0,36	0,16
Panopeidae	9	17	3,28	2,77
Menippidae	2	2	0,73	0,33
Oziidae	1	1	0,36	0,16
Pilumnidae	2	11	0,73	1,79
Euryplacidae	2	2	0,73	0,33
Goneplacidae	1	1	0,36	0,16
Chasmocarcinidae	1	2	0,36	0,33
Pinnotheridae	5	9	1,82	1,47
Grapsidae	4	5	1,46	0,81
Plagusiidae	3	3	1,09	0,49
Varunidae	1	1	0,36	0,16
Sesarmidae	3	4	1,09	0,65
Gecarcinidae	2	4	0,73	0,65
Ucididae	1	1	0,36	0,16
Ocypodidae	2	8	0,73	1,30
Palicidae	1	9	0,36	1,47
Cryptochiridae	2	2	0,73	0,33

caracteres reproductivos son los más importantes a la hora de definir este grupo, todos los machos presentan los primeros dos pares de pleópodos modificados en gonópodos tubulares que sirven como mecanismo para depositar el espermatóforo y todas las hembras poseen espermatecas pares en los esternones torácicos. La combinación reproductiva en pares de gonópodos no existe en ningún otro grupo de decápodos (Ng *et al.* 2008).

Los Brachyura se dividen generalmente en dos grandes grupos: los Eubrachyura o cangrejos “avanzados” o “verdaderos” y los Podotremata o cangrejos “primitivos”, sin embargo la historia filogenética, evolución y registro fósil dentro de estos grupos, es aún objeto de controversia (Brösing *et al.* 2007).

En el Caribe colombiano los Brachyura están representados por 267 especies agrupadas en 40 familias (Tabla 3). El mayor número de géneros (145 para el infraorden) registrados para el Caribe colombiano, pertenecen a la familia Xanthidae (6,2 %), una de las familias fraccionada recientemente, seguida por Epialtidae, que anteriormente hacia parte de la familia Majidae y la Parthenopidae, las dos con el 4,1 %.

## IMPORTANCIA DE LOS DECÁPODOS EN EL CARIBE COLOMBIANO Y PERSPECTIVAS DE SU APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE

Por su riqueza y abundancia los crustáceos decápodos del Caribe colombiano cumplen un papel importante en las pesquerías industrial y artesanal, las cuales corren el riesgo de hacerse insostenibles si no se manejan adecuadamente. Para ello es fundamental el seguir avanzando en el estudio de sus stocks, historias de vida, caracterización de sus poblaciones y flujo genético, entre otros aspectos.

No se descarta que muchas especies del grupo, ya sean adultos o algunos estadios de vida, puedan ser fuente de recursos adicionales para el país gracias a nuevos usos como el ornamental, como forraje para otras especies, o como productores de sustancias de interés industrial.

Aún más importante que el económico, es el valor ecológico de estos macroinvertebrados. Ellos, debido a su riqueza, amplia distribución y elevada biomasa, tienen roles ecológicos imprescindibles para mantener las redes tróficas y ciclos de nutrientes actuales.

## AGRADECIMIENTOS

A todos los carcinólogos colombianos y a sus estudiantes por su importante y desinteresada labor.

A los integrantes del Museo del Historia Natural Marina de Colombia, y en especial del Grupo de Taxonomía, Sistemática y Ecología Marina, por su apoyo, desde las exploraciones de campo hasta la redacción del presente capítulo.

De manera muy especial a los doctores Rafael Lemaitre (National Museum of Natural History, Smithsonian Institution), Annie Machordom (Museo Nacional de Ciencias Naturales, España) y Enrique Macpherson (Centro de Estudios Avanzados de Blanes, España) por su constante apoyo y motivación.

Muchas gracias al profesor Ricardo Dueñas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano por la revisión del presente manuscrito.

Finalmente, a todas las personas y fuentes financieras que han hecho posible el poseer el conocimiento actual sobre los crustáceos decápodos de aguas colombianas.

## REFERENCIAS

- Ángel C. 2009. Distribución y zoogeografía de las especies de la familia Galatheidae (Anomura: Galatheoidea) del Caribe y Pacífico colombianos. Tesis biología marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, 246 p.
- Anker A., C. Hurt y N. Knowlton. 2007. Revision of the *Alpheus nuttingi* (Schmitt) species complex (Crustacea: Decapoda: Alpheidae), with description of a new species from the tropical eastern Pacific. *Zootaxa*, 1577:41-60.
- Arboleda E. 2002. Estado actual del conocimiento y riqueza de peces, crustáceos decápodos, moluscos, equinodermos y corales escleractinios del Océano Pacífico colombiano. Tesis biología marina, Santa Marta, 80 p.
- Ariza P. 2002. Composición y distribución de los cangrejos braquiuros del mar Caribe colombiano (20 - 500 m de profundidad). Tesis biología, Universidad Javeriana, Bogotá.
- Baba K. 2005. Deep-sea chirostylid and galatheid crustaceans (Decapoda: Anomura) from the Indo-Pacific, with a list of species. *Galathea Report*, 20:1-317.
- Baba K., E. Macpherson, G.C.B. Poore, S.T. Ahyong, A. Bermúdez, P. Cabezas, C.W. Lin, M.S. Nizinski, C. Rodrigues y K.E. Schnabel. 2008. Catalogue of squat lobsters of the world (Crustacea: Decapoda: Anomura — families Chirostylidae, Galatheidae and Kiwaidae). *Zootaxa*, 1905:1-220.
- Bermúdez A. 2005. Caracterización morfológica de las poblaciones de *Agononida longipes* y *Munida flinti* (Crustacea: Decapoda: Galatheidae) en el mar Caribe colombiano. Tesis M.Sc., Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 100 p.
- Bermúdez A., N.H. Campos y G.R. Navas. 2002. Capítulo crustáceos, 101-122. En Ardila N.E., G.R. Navas y J.O. Reyes (Eds.), Libro rojo de los invertebrados marinos de Colombia, Invenmar, Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá.
- Bermúdez A., G.R. Navas y N.H. Campos. 2008. Populations-struktur und genetische Isolierung von drei Springkrebs-Arten. Der Einfluss der ozeanographischen Merkmale und der geographischen Distanz zwischen den Populationen entlang der karibischen Küste von Kolumbien. VDM Verlag, Saarbrücken, 116 p.
- Bermúdez A., N. Cruz, G.R. Navas y N.H. Campos. 2005. Nuevos registros de cangrejos del género *Palicus* (Philippi, 1838) (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Palicidae) para el mar Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 34:71-86.
- Beurlen K. 1938. Algunos fósiles cretácicos (vermes, equínidos, crustáceos) de la Cordillera Oriental. *Estudios geológicos y paleontológicos sobre la Cordillera oriental de Colombia*, 3:128-136.
- Brosing A., S. Richter y G. Scholtz. 2007. Phylogenetic analysis of the Brachyura (Crustacea, Decapoda) based on characters of the foregut with establishment of a new taxon. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 45(1):20-32.
- Bula-Meyer G.A. 1977. Algas marinas bénticas indicadoras de un área afectada por aguas de surgencia frente a la costa Caribe de Colombia. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta de Betín*, 9:45-71.
- Campos N.H. 1995. Crustáceos decápodos asociados a comunidades algales en la región de Santa Marta, Caribe colombiano. *Caldasia*, 18(86):57-69.
- Campos N.H. y G. Manjarrés. 1988. Decápodos Brachyura de la región de Urabá (Caribe colombiano). *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta de Betín*, 18:17-23.
- Campos N.H. y M. Türkay. 1989. On a record of *Charybdis helleri* from the Caribbean coast of Colombia. *Senckenbergiana Maritima*, 20(3/4):119-123.
- Campos N.H. y G. Manjarrés. 1990. Tres nuevos registros de cangrejos de la familia Parthenopidae (Crustacea: Brachyura: Parthenopoidea) del Caribe colombiano. *Caribbean Journal of Science*, 26(3-4):130-135.
- Campos N.H. y G. Manjarrés. 1991. Los crustáceos de la superfamilia Parthenopoidea (Brachyura: Oxyrhyncha) de la región de Santa Marta. *Boletín Ecotrópica*, 24:1-13.
- Campos N.H. y B. Werding. 1991. *Palicus alternatus* Rathbun (Decapoda: Brachyura) un nuevo registro para el Caribe colombiano. *Caldasia*, 16(78):349-354.
- Campos N.H. y L.G. Puentes. 1992. La familia Sicyoniidae (Crustacea: Penaeoidea) en la región de Santa Marta, Caribe colombiano. *Boletín Ecotrópica*, 25:1-14.
- Campos N.H. y R. Lemaitre. 1994. A new *Calcinus* (Decapoda: Anomura: Diogenidae) from the Tropical Western Atlantic, and a comparison with other species of the genus from the region. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 107(1):137-150.
- Campos N.H. y M.L. Cortés. 1994. *Trachypenaeopsis mobilispinis* (Rathbun, 1920) (Decapoda: Penaeidae): primer registro para el Caribe colombiano. *Caribbean Journal of Science*, 30(3-4):274.
- Campos N.H. y H. Sánchez. 1995. Los cangrejos ermitaños del género *Paguristes* Dana (Anomura: Diogenidae) de la costa norte colombiana, con la descripción de dos nuevas especies. *Caldasia*, 17(82-85):569-586.
- Campos N.H. y M.L. Cortés. 1995. *Clythrocerus carinatus* Coelho, 1973 (Crustacea: Decapoda) primer registro de una especie de la familia Tymolidae para el Caribe colombiano. *Caldasia*, 18(86):141-143.
- Campos N.H., G.R. Navas, A. Bermúdez y N. Cruz. 2005. Los crustáceos decápodos de la franja superior del talud continental (300-500 m) del mar Caribe colombiano. Universidad Nacional de Colombia, Unibiblos, Bogotá, 272 p.
- Christoffersen M.L. 1990. A new superfamily classification of the Caridea (Crustacea: Pleocyemata) based on phylogenetic pattern. *Zeitschrift für Zoologische Systematik und Evolutionsforschung*, 28:94-106.
- Córdoba M. 1997. Macrofauna bentónica asociada a fondos blandos de la plataforma continental de Pozos Colorados y el Rodadero, Caribe colombiano. Tesis biología marina, Santa Marta, 107 p.
- Corredor L., M.M. Criales, J. Palacio, H. Sánchez y B. Werding. 1979. Decápodos colectados en las Islas del Rosario. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta de Betín*, 11:31-34.
- Cortés M.L. y N.H. Campos. 1999. Crustáceos decápodos de fondos blandos en la franja costera del Departamento del Magdalena, Caribe colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 23(89):603-614.
- Criales M.M. 1977. Aspectos ecológicos y etológicos de camarones limpiadores de peces (Natantia, Palaemonidae, Hippolytidae, Stenopodidae). *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta de Betín*, 9:141-156.
- Criales M.M. 1981. Two new species of *Pseudocoutierea* (Decapoda Natantia, Palaemonidae) from the Colombian Caribbean. *Crustaceana*, 41(2):167-181.
- Criales M.M. 1997. *Microprosthema granatense*, new species, from the southern Caribbean, with a key to shrimps of the genus *Microprosthema* from the western Atlantic and a new record of *Odontozona libertae* (Decapoda: Stenopodidae). *Journal of Crustacean Biology*, 17(3):538-545.
- Cruz N., A. Bermúdez, N.H. Campos y G.R. Navas. 2002. Los camarones de la familia Crangonidae de la franja superior del Talud continental del mar Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 31:183-203.
- Dworschak P.C. 2005. Global diversity in the Thalassinidea (Decapoda): an update (1998-2004). *Nauplius*, 13(1):57-63.
- Franke R. 2001. Evaluación de las comunidades epifaunales de las praderas de *Thalassia testudinum* en el Parque Nacional Natural Tayrona. Tesis M.Sc., Universidad Nacional de Colombia, Santa Marta, 118 p.
- Fransen C.H.J.M. y S. De Grave. 2009. Evolution and radiation of shrimp-like decapods: an overview, 245-259. En: Martin J.W., K.A. Crandall, y D.L. Felder (Eds.), *Decapod Crustacean Phylogenetics*, Crustacean Issues, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida.
- Garzón-Ferreira J. 1992. La langosta *Palinurellus gundlachi* (Decapoda: Synaxidae) en el sur del Mar Caribe. *Revista de Biología Tropical*, 40(2):245-246.
- Griffis R.B. y T.H. Suchanek. 1991. A model of burrow architecture and trophic modes in thalassinidean shrimp (Decapoda: Thalassinidea). *Marine Ecology Progress Series*, 79:171-183.
- Gutiérrez-Salcedo J.M., M.I. Aguilar, A. Bermúdez, N.H. Campos y G.R. Navas. 2007. Estructura de la macrofauna de invertebrados presente en los nidos del pez *Malacanthus plumieri* (Bloch, 1786) (Perciformes: Malacanthidae) en la bahía de Nenguange, Parque Nacional Natural Tayrona, mar Caribe colombiano. *Caldasia*, 29(2):309-328.
- Guzmán-Alvis A. y J.M. Díaz. 1996. Soft-bottom macrobenthic assemblages of Santa Marta, Caribbean coast of Colombia. *Caribbean Journal of Science*, 32:176-186.
- Guzmán-Alvis A., O.D. Solano, M. Córdoba-Tejada y A. López-Rodríguez. 2001. Comunidad macroinfaunal de fondos blandos someros tropicales (Caribe colombiano). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 30:39-66.
- Holthuis L.B. 1991. FAO Species Catalogue: Marine Lobsters of the World: An Annotated and Illustrated Catalogue of Species of Interest to Fisheries Known to Date. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 292 p.
- Jaramillo O.N., D. Calle, H. Caro-Riaño, J. Calle y E. Ortega-Barría. 2002. Diferencias morfológicas asociadas a la distribución geográfica de *Rhodnius pallescens* provenientes de siete localidades de Colombia y Panamá, 15-22. En OPS/OMS, Iniciativa de los países de Centro América para la interrupción de la transmisión vectorial y transfusional de la Enfermedad de Chagas, Taller técnico de estudio sobre *Rhodnius pallescens*, su vigilancia y control, Panamá.
- Lemaitre R. y S. d. Almeida-Rodrigues. 1991. *Lepidophthalmus sinuensis*: a new species of ghost shrimp (Decapoda: Thalassinidea: Callianassidae) of importance to the commercial culture of penaeid shrimps on the Caribbean coast of Colombia, with observations on its ecology. *Fishery Bulletin*, 89:623-630.
- Lemaitre R. y N.H. Campos. 1993. Two new hermit crabs (Crustacea: Decapoda: Paguridae) from the Caribbean Sea. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 106:554-565.
- Lemaitre R. y D.L. Felder. 1996. A new species of ghost shrimp of the genus *Sergio* Manning and Lemaitre, 1994 (Crustacea: Decapoda: Callianassidae) from the Caribbean coast of Colombia. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 109:453-463.

- Lemaitre R. y A. Bermúdez 2000. A new cyclodorippoid crab of the genus *Cymonomoides* Tavares, 1993 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Cymonomidae) from the Caribbean coast of Colombia. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 113(4):974-979.
- Lemaitre R. y N. Cruz. 2004. A new species of *Pagurus* Fabricius, 1775 from the Pacific coast of Colombia, with a checklist of eastern Pacific species of the genus. *Nauplius*, 12(2):71-82.
- Lemaitre R., N.H. Campos y A. Bermúdez. 2001. A new species of *Pyromaia* from the Caribbean Sea, with a redescription of *P. propinqua* Chace, 1940 (Decapoda: Brachyura: Majoidea: Inachoididae). *Journal of Crustacean Biology*, 21(3):760-773.
- Lemaitre R. y G.E. Ramos 1992. A collection of Thalassinidea (Crustacea, Decapoda) from the Pacific coast of Colombia, with description of a new species and a checklist of eastern Pacific species. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 105(2):343-358.
- Lemaitre R., J. García-Gómez, R. von Sternberg y N.H. Campos. 2001. A new genus and new species of crab of the family Goneplacidae MacCleay, 1838 (Crustacea: Decapoda: Brachyura) from the tropical western Atlantic. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 114(4):951-963.
- López A. 1997. Caracterización espacio-temporal de la taxocenosis Mollusca-Crustacea-Echinodermata en la Ensenada de Pozos Colorados y sectores aledaños, Caribe colombiano. Tesis biología marina, Santa Marta, 119 p.
- López A. y J.A. Arango. 1992. Contribución al conocimiento biológico pesquero de los camarones de profundidad, rojo real y gamba, zona norte, Caribe colombiano. VIII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar, Santa Marta, 830-840.
- Manning R.B. 1993. Two new species of *Neocallincheirus* from the Caribbean Sea (Crustacea: Decapoda: Callinassidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 106:106-114.
- Martin J.W. y G.E. Davis. 2001. An updated classification of the recent Crustacea. Natural History Museum of Los Angeles County, Science Series, 39:1-124.
- Mayo B. 1972. Three new species of the Family Galatheidae (Crustacea, Anomura) from the western Atlantic. *Bulletin of Marine Science*, 22(2):522-535.
- Moreno-Forero S.K., G.R. Navas y O.D. Solano. 1998. Cryptobiotia associated to dead *Acropora palmata* (Scleractinia: Acroporidae) coral, Isla Grande, Colombian Caribbean. *Revista de Biología Tropical*, 46(2):229-236.
- Navas G. y N.H. Campos. 1998. Las langostas chinas (Crustacea: Decapoda: Scyllaridae) del Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 27:51-66.
- Navas G.R., P. Lattig y S.K. Moreno-Forero. 1999. Presencia de *Metalpheus rostratipes* (Pocock, 1890) (Crustacea: Alpheidae) en el Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 28:181-184.
- Navas G.R., S.K. Moreno-Forero, O.D. Solano y G. Díaz-Pulido. 1998. Ensamblajes arrecifales epilíticos del coral *Acropora palmata* muerto, Isla Grande, Islas del Rosario, Caribe Colombiano. *Caribbean Journal of Science*, 34(1-2):58-66.
- Navas G.R., A. Bermúdez, N. Cruz y N.H. Campos. 2003. Galatéidos (Decapoda, Anomura, Galatheidae) del Caribe colombiano, incluyendo doce primeros registros. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 32:3-18.
- Ng P.K.L., D. Guinot y P.J.F. Davie 2008. Systema Brachyurorum: Part I. An annotated checklist of extant brachyuran crabs of the world. *The Raffles Bulletin of Zoology*, 17:1-286.
- Pearse A.S. 1916. An account of the crustacea collected by the Walker expedition to Santa Marta, Colombia. *Proceedings of the United States National Museum*, 49:531-556.
- Pérez-Farfante I. y B. Kensley 1997. Penaeoid and Sergestoid shrimps and prawns of the world, Keys and diagnoses for the families and genera. *Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle*, 5:1-233.
- Poore G.C.B. 1997. A review of the thalassinidean families Callinideidae Kossman, Micheleidae Sakai, and Thomassiniidae de Saint Laurent (Crustacea, Decapoda) with descriptions of fifteen new species. *Zoosystema*, 19(2-3):345-420.
- Prahl H. 1983. Intertidal and terrestrial crabs (Decapoda: Brachyura) of San Andrés Island, Colombia. *Caribbean Journal of Science*, 19(3-4):23-26.
- Prahl H. y G. Manjarrés. 1982. Cangrejos gecarcinidos (Crustacea: Gecarcinidae) de la Isla de Providencia, Colombia. *Caribbean Journal of Science*, 19(1-2):31-34.
- Puentes L. y N.H. Campos. 1992. Los camarones (Crustacea: Decapoda: Natantia) asociados a praderas de *Thalassia testudinum* Banks ex Koning, en la región de Santa Marta, Caribe colombiano. *Caldasia*, 17(1):121-132.
- Puentes L., N.H. Campos y R. Reyes. 1990. Decápodos de fondos blandos hallados en el área comprendida entre Pozos Colorados y la Bahía de Taganga, Caribe colombiano. *Boletín Ecotropical*, (23):31-41.
- Ramos G.E. 1995. *Neopontonides henryvonprahli*, una nueva especie de camarón pontonino del Pacífico de Colombia (Decapoda: Palaemonidae) simbiote de las gorgonias *Muricea robusta* y *Lophogorgia alba*. *Revista de Biología Tropical*, 43(1/3):231-237.
- Rathbun M.J. 1937. Cretaceous and Tertiary crabs from Panama and Colombia. *Journal of Paleontology*, 11:26-28.
- Rodríguez D. 1982. Los cangrejos de la familia Portunidae (Decapoda: Brachyura) del Caribe colombiano. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta de Betín*, 12:137-184.
- Sánchez H. 1977. *Pylopagurus samariensis* sp. nov. (Crustacea, Anomura, Paguridae) de la costa Caribe colombiana. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta de Betín*, 9:215-223.
- Schmitt W.L. 1939. Decapod and other Crustacea collected on the Presidential cruise of 1938. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 98(6):1-29, 22 figs., 23 pls.
- Schram F.R. 1986. *Crustacea*. Oxford University Press, New York, 606 p.
- Staiger J. 1968. Narrative of *R/V John Elliot Pillsbury* Cruise P-6806 to the Southern Caribbean Sea, July 6 - August 3, 1968. Manuscrito, 72 p.
- Varila-Vargas D.A. 2004. Diversidad y distribución de los crustáceos decápodos del infraorden Brachyura de la plataforma continental y talud superior de la parte norte del Pacífico colombiano. Tesis biología marina, Santa Marta, 110 p.
- Vélez M. 1977. Distribución y ecología de los Majidae (Crustacea: Brachyura) en la región de Santa Marta, Colombia. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta de Betín*, 9:109-140.
- Vélez M. 1978. Reporte sobre algunas especies de Majidae (Crustacea: Brachyura) para la costa atlántica colombiana. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta de Betín*, 10:69-80.
- Werding B. 1978. Eine Porzellanide, *Petrolisthes magdalenensis* n. sp. von der Karibischen Küste Kolumbiens. (Crustacea, Decapoda, Anomura). *Senckenbergiana biologica*, 59(3/4):307-310.
- Werding B. 1982. Porcellanid crabs of the Islas del Rosario, Caribbean coast of Colombian, with a description of *Petrolisthes rosariensis* new species (Crustacea: Anomura). *Bulletin of Marine Science*, 32(2):439-447.
- Werding B. 1983. Der *Petrolisthes galathinus*-Artenkomplex im karibischen Raum mit Beschreibung von *P. caribensis* n. sp. un *P. columbiensis* (Crustacea: Anomura: Porcellanidae). *Senckenbergiana Biologica*, 63(5/6):407-418.
- Werding B. y H.G. Müller. 1990a. Die Gattung *Parapinnixa* Holmes, 1894 an der Nordküste Kolumbiens, mit Beschreibung von *Parapinnixa magdalenensis* n. sp. (Crustacea: Decapoda: Pinnotheridae). *Senckenbergiana biologica*, 70(1/3):221-227.
- Werding B. y H.G. Müller. 1990b. Leucosiidae von der Nordküste Kolumbiens (Crustacea: Decapoda: Brachyura). *Senckenbergiana biologica*, 70(4/6):405-417.
- Werding B. y H.G. Müller 1990c. Frog crabs of the coast of N-Colombia (Crustacea: Decapoda: Raninidae). *Senckenbergiana biologica*, 70(1/3):209-219.
- Werding B. y H. Kraus 2002. A new species of the *Petrolisthes galathinus* species complex from the southern Caribbean Sea (Decapoda, Anomura, Porcellanidae). *Crustaceana*, 75(9):1141-1147.
- Werding B., A. Hiller y R. Lemaitre 2003. Geographic and depth distributional patterns of western Atlantic Porcellanidae (Crustacea: Decapoda: Anomura), with an updated list of species, 79-85. En: Lemaitre R. y C.C. Tudge (Eds), Biology of the Anomura, Proceedings of a symposium at the Fifth International Crustacean Congress, *Memoirs of Museum Victoria*.

## ANEXO

**Tabla 8.** Listado de las especies registradas de crustáceos decápodos del Caribe colombiano

<i>Acanthacaris caeca</i> A. Milne Edwards, 1881	<i>Armases roberti</i> (H. Milne Edwards, 1853)
<i>Acanthilia intermedia</i> (Miers, 1886)	<i>Automate gardineri</i> Coutière, 1902
<i>Acanthocarpus alexandri</i> Stimpson, 1871	<i>Axiopsis serratifrons</i> (A. Milne Edwards, 1873)
<i>Acantholobulus bermudensis</i> Benedict y Rathbun, 1891	<i>Axius gundlachi</i> (von Martens, 1873)
<i>Acanthonyx petiverii</i> H. Milne Edwards, 1834	<i>Banareia palmeri</i> (Rathbun, 1894)
<i>Actaea acantha</i> (H. Milne Edwards, 1834)	<i>Bathynectes longispina</i> Stimpson, 1871
<i>Actaea bifrons</i> Rathbun, 1898	<i>Batrachonotus fragosus</i> Stimpson, 1871
<i>Aepinus septemspinus</i> (A. Milne-Edwards, 1879)	<i>Batyphlax typhlus</i> A. Milne-Edwards, 1880
<i>Agaricochirus alexandri</i> (A. Milne Edwards y Bouvier, 1893)	<i>Brachycarpus biunguiculatus</i> (Lucas, 1849)
<i>Agononida longipes</i> (A. Milne Edwards, 1880)	<i>Calappa cinerea</i> Holthuis, 1958
<i>Albunea paretii</i> Guérin-Méneville, 1853	<i>Calappa flammea</i> (Herbst, 1794)
<i>Alpheopsis labis</i> Chace, 1972	<i>Calappa gallus</i> (Herbst, 1803)
<i>Alpheopsis trigonus</i> (Rathbun, 1901)	<i>Calappa ocellata</i> Holthuis, 1958
<i>Alpheus amblyonyx</i> Chace, 1972	<i>Calappa sulcata</i> Rathbun, 1898
<i>Alpheus armatus</i> Rathbun, 1901	<i>Calappa tortugae</i> Rathbun, 1933
<i>Alpheus armillatus</i> H. Milne-Edwards, 1837	<i>Calcinus tibicen</i> (Herbst, 1791)
<i>Alpheus bahamensis</i> Rankin, 1898	<i>Calcinus urabaensis</i> Campos y Lemaitre, 1994
<i>Alpheus candei</i> Guérin-Méneville, 1855	<i>Callianassa atlántica</i> Rathbun, 1926
<i>Alpheus cristulifrons</i> Rathbun, 1900	<i>Callianassa marginata</i> Rathbun, 1901.
<i>Alpheus floridanus</i> Kingsley, 1878	<i>Callianassa setimanus</i> (DeKay, 1844)
<i>Alpheus formosus</i> Gibbes, 1850	<i>Calliax mcilhennyi</i> (Felder y Manning, 1994)
<i>Alpheus heterochaelis</i> Say, 1818	<i>Calliax quadracuta</i> (Biffar, 1970)
<i>Alpheus intrinsecus</i> Bate, 1888	<i>Callinectes bocourti</i> A. Milne Edwards (1879)
<i>Alpheus normanii</i> Kingsley, 1878	<i>Callinectes danae</i> Smith, 1869
<i>Alpheus nuttingi</i> (Schmitt, 1924)	<i>Callinectes exasperatus</i> (Gerstaecker, 1856)
<i>Alpheus paracrinitus</i> Miers, 1881	<i>Callinectes larvatus</i> Ordway, 1863
<i>Alpheus pearsei</i> (Armstrong, 1940)	<i>Callinectes marginatus</i> (A. Milne Edwards, 1861)
<i>Alpheus schmitti</i> Chace, 1972	<i>Callinectes ornatus</i> Ordway, 1863
<i>Alpheus simus</i> cf. Guérin-Méville, 1855	<i>Callinectes sapidus</i> Rathbun, 1896
<i>Alpheus viridari</i> (Armstrong, 1949)	<i>Callinectes similis</i> Williams, 1966
<i>Anasimus latus</i> Rathbun, 1894	<i>Callydactylus asper</i> Stimpson, 1871
<i>Anchistoides antiguensis</i> (Schmitt, 1924)	<i>Cardisoma guanhumu</i> Latreille, 1825
<i>Anomalothir frontalis</i> (A. Milne Edwards, 1880)	<i>Carpillus corallinus</i> (Herbst, 1783)
<i>Anomalothir furcillatus</i> (Stimpson, 1871)	<i>Castalambrus tommasii</i> Rodrigues da Costa, 1959
<i>Anomoemunida caribensis</i> , (Mayo, 1972)	<i>Cataleptodius floridanus</i> (Gibbes, 1850)
<i>Arachnopsis filipes</i> Stimpson, 1871	<i>Celatopesia concava</i> Stimpson, 1871
<i>Aratus pisonnii</i> (H. Milne Edwards, 1937)	<i>Chaceon eldorado</i> Manning y Holthuis, 1989
<i>Arenaecus cribarius</i> (Lamarck, 1818)	<i>Charybdis</i> (Charybdis) <i>helleri</i> (A. Milne Edwards, 1867)
<i>Aristaomorpha foliacea</i> (Risso, 1827)	<i>Chasmocarcinus cylindricus</i> Rathbun, 1898
<i>Armases angustipes</i> (Dana, 1852)	<i>Chasmocarcinus obliquus</i> Rathbun, 1898
<i>Armases ricordi</i> (H. Milne Edwards, 1853)	<i>Cheramus marginatus</i> (Rathbun, 1901)

### Continuación de Tabla 8.

<i>Chlorodiella longimana</i> (Milne Edwards, 1834)	<i>Ethusa microphthalma</i> Smith, 1881
<i>Chorinus heros</i> (Herbst, 1790)	<i>Etisus maculatus</i> (Stimpson, 1860)
<i>Clastoechus nodosus</i> (Streets, 1872)	<i>Euchirograpsus americanus</i> A. Milne Edwards, 1880
<i>Clibanarius antillensis</i> (Stimpson, 1859 o Dana, 1857)	<i>Eucratopsis crassimanus</i> (Dana, 1851)
<i>Clibanarius cubensis</i> (Saussure, 1850)	<i>Eugonatonotus crassus</i> (A. Milne-Edwards, 1881)
<i>Clibanarius tricolor</i> (Gibbes, 1850)	<i>Euminida picta</i> Smith, 11883
<i>Clibanarius vittatus</i> (Bosc, 1802)	<i>Eunephrops bairdii</i> Smith, 1881
<i>Clypeasterophilus rugatus</i> Bouvier, 1917	<i>Eunephrops cadenasi</i> Chace, 1939
<i>Clypeasterophilus stebbingi</i> Rathbun, 1918	<i>Euprognatha bifida</i> Rathbun, 1893
<i>Clythrocerus carinatus</i> Coleho, 1973	<i>Euprognatha rastellifera</i> Stimpson, 1871
<i>Clythrocerus moreirai</i> Tavares, 1993	<i>Eurypanopeus abbreviatus</i> (Stimpson, 1860)
<i>Coenobita clypeatus</i> (Herbst, 1791)	<i>Eurypanopeus depressus</i> (Smith, 1869)
<i>Collodes inermis</i> A. Milne-Edwards, 1878	<i>Eurypanopeus dissimilis</i> (Benedict y Rathbun, 1891)
<i>Collodes robustus</i> Smith, 1830	<i>Eurytium limosum</i> (Say, 1818)
<i>Collodes trispinosus</i> Stimpson, 1871	<i>Farfantepenaeus brasiliensis</i> (Latreille, 1817)
<i>Coralaxius nodulosus</i> (Meinert, 1877)	<i>Farfantepenaeus notialis</i> (Pérez Farfante, 1967)
<i>Cronius ruber</i> (Lamrck, 1818)	<i>Farfantepenaeus subtilis</i> (Pérez Farfante, 1967)
<i>Cronius tumidulus</i> (Stimpson, 1871)	<i>Frevillea barbata</i> A. Milne-Edwards, 1880
<i>Cryptosoma bairdii</i> Verrill, 1908	<i>Galacantha rostrata</i> A. Milne Edwards, 1880
<i>Cyclodorippe antennaria</i> A. Milne Edwards, 1880	<i>Galacantha spinosa</i> (A. Milne-Edwards, 1880)
<i>Cyclograpsus integer</i> Milne Edwards, 1837	<i>Garthiope spinipes</i> A. Milne Edwards, 1880
<i>Cyclozodion angustum</i> (A. Milne Edwards, 1880)	<i>Gecarcinus lateralis</i> (Freimville, 1835)
<i>Cymonomoides fitoi</i> Lemaitre y Bermúdez, 2000	<i>Gecarcinus quadratus</i> Saussure, 1853
<i>Cyonomus magnirostris</i> Tavares, 1991	<i>Gecarcinus ruricola</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Dardanus fucosus</i> Biffar y Provenzano, 1972	<i>Geograpsus lividus</i> (H. Milne Edwards, 1837)
<i>Dardanus insignis</i> Saussure, 1858	<i>Glyphocrangon aculeata</i> A. Milne Edwards, 1881
<i>Dardanus venosus</i> (H. Milne Edwards, 1848)	<i>Glyphocrangon alispina</i> Chace, 1939
<i>Deilocerus perpusillus</i> (Rathbun, 1901)	<i>Glyphocrangon haematonotus</i> Holthuis, 1971
<i>Discias atlanticus</i> Gurney, 1939	<i>Glyphocrangon longleyi</i> Schmitt, 1931
<i>Dissodactylus crinitichelis</i> Moreira, 1901	<i>Glyphocrangon neglecta</i> Faxon, 1896
<i>Domecia acanthophora acanthophora</i> (Desbonne y Schramm, 1867)	<i>Glyphocrangon nobilis</i> A. Milne Edwards, 1881
<i>Dromia erythropus</i> (G. Edwards, 1771)	<i>Glyptoplax smithii</i> A. Milne-Edwards, 1880
<i>Ebalia cariosa</i> (Stimpson, 1860)	<i>Glyptoxanthus erosus</i> (Stimpson, 1859)
<i>Ebalia stimpsoni</i> A. Milne Edwards, 1880	<i>Glypturus acanthocirus</i> Stimpson, 1866
<i>Emerita portoricensis</i> Schmitt, 1935	<i>Glypturus longiventris</i> (A. Milne-Edwards, 1870)
<i>Enoplometopus antillensis</i> Lütken, 1865	<i>Glypturus xuthus</i> (Manning, 1988)
<i>Epialtus bituberculatus</i> Milne Edwards, 1834	<i>Gnathophylloides mineri</i> Schmitt, 1933
<i>Epialtus brasiliensis</i> Dana, 1852	<i>Gnathophyllum americanum</i> Guérin-Méneville, 1855
<i>Epialtus kingsleyi</i> Rathbun, 1923	<i>Goneplax sigsbei</i> (A. Milne-Edwards, 1880)
<i>Epialtus longirostris</i> Stimpson, 1860	<i>Goniopsis cruentata</i> (Latreille, 1802)
<i>Eriphia gonagra</i> (Fabricius, 1781)	<i>Grapsus grapsus</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Ethusa mascarone americana</i> (A. Milne-Edwards, 1880)	<i>Hemus cruistulipes</i> A. Milne Edwards (1875)

**Continuación de Tabla 8.**

*Hepatus gronovii* Holthuis, 1959  
*Hepatus pudibundus* Herbst, 1785  
*Hepatus scaber* Holthuis, 1959  
*Herbstia depressa* Stimpson, 1860  
*Heteractea ceratopus* (Stimpson, 1860)  
*Heterocarpus ensifer* A. Milne Edwards, 1881  
*Heterocryota granulata* (Gibbes, 1849)  
*Hexapanopeus caribbaeus* (Stimpson, 1871)  
*Hippa cubensis* (Saussure, 1859)  
*Hippolyte curacaoensis* Schmitt, 1924  
*Hippolyte zostericola* Smith, 1873  
*Homola barbata* (Fabricius, 1973)  
*Homolodromia paradoxa* A. Milne-Edwards, 1880  
*Iliacantha liodactylus* Rathbun, 1898  
*Iliacantha sparsa* Stimpson, 1871  
*Iliacantha subglobosa* Stimpson, 1871  
*Iridopagurus caribbensis* (A. Milne-Edwards y Bouvier, 1893)  
*Iridopagurus dispar* (Stimpson, 1859)  
*Iridopagurus globulus* (De Saint Laurent-Dechancé, 1966)  
*Iridopagurus iris* (A. Milne-Edwards, 1880)  
*Iridopagurus margaritensis* García-Gómez, 1983  
*Iridopagurus reticulatus* García-Gómez, 1983  
*Iridopagurus violaceus* De Saint Laurent-Dechancé, 1966  
*Isocheles wurdemanni* (Stimpson, 1859)  
*Lalonectes vocans* (A. Milne Edwards, 1878)  
*Latreilla elegans* Roux, 1834  
*Latreutes fucorum* (Fabricius, 1798)  
*Latreutes inermis* Chace, 1972  
*Latreutes parvulus* (Stimpson, 1866)  
*Leander tenuicornis* (Say, 1818)  
*Leiolambrus nitidus* Rathbun, 1901  
*Lepidopa luciae* Boyko, 2002  
*Lepidopa richmondi* Benedict, 1903  
*Lepidopa venusta* Stimpson, 1858  
*Lepidophtalmus sinuensis* Lemaitre y Rodríguez, 1991  
*Libinia ferreirae* Brito Capello, 1871  
*Libinia rostrata* Bell, 1835  
*Lithadia granulosa* A. Milne Edwards, 1880  
*Litopenaeus schmitti* (Burkenroad, 1936)  
*Lobopilumnus agassizi* Stimpson, 1871  
*Lupella forceps* (Fabricius, 1793)  
*Lyreidius bairdii* Smith, 1881  
*Lysmata grabhami* (Gordon, 1935)

*Lysmata intermedia* (Kingsley, 1878)  
*Lysmata moorei* (Rathbun, 1901)  
*Lysmata wurdemanni* (Gibbes, 1850)  
*Macrocoeloma diplacanthum* (Stimpson, 1860)  
*Macrocoeloma euthecata* (Stimpson, 1871)  
*Macrocoeloma intermedium* Rathbun, 1892  
*Macrocoeloma laevigatum* (Stimpson, 1860)  
*Macrocoeloma septempinosum* (Stimpson, 1871)  
*Macrocoeloma subparallelum* (Stimpson, 1860)  
*Macrocoeloma trispinosum* (Latreille, 1825)  
*Madarateuchus vanderhorsti* (Schmitt, 1924)  
*Megalobrachium mortenseni* (Haig, 1962)  
*Megalobrachium poeyi* (Guérin, 1855)  
*Megalobrachium roseum* (Rathbun, 1900)  
*Megalobrachium soriatum* (Say, 1818)  
*Melybia thalamita* Stimpson, 1871  
*Menippe nodifrons* (Stimpson, 1859)  
*Mesorhoea sexpinosa* Stimpson, 1871  
*Metanephrops binghami* (Boone, 1927)  
*Metapenaeopsis goodei* (Smith, 1885)  
*Metapenaeopsis hobbsi* Pérez Farfante, 1971  
*Metasesarma rubripes* (Rathbun, 1897)  
*Microcassiope granulimanus* Stimpson, 1871  
*Micropanope barbadensis* (Rathbun, 1921)  
*Micropanope lobifrons* A. Milne-Edwards, 1880  
*Micropanope lobifrons* A. Milne-Edwards, 1880  
*Micropanope nuttingi* (Rathbun, 1898)  
*Micropanope pusilla* A. Milne Edwards, 1880  
*Micropanope sculptipes* Stimpson, 1871  
*Micropanope truncatifrons* cf. Rathbun, 1898  
*Microphrys antillensis* Rathbun, 1920  
*Microphrys bicornutus* (Latreille, 1825)  
*Microphrys interruptus* Rathbun, 1920  
*Microprosthemata granate*, Criales, 1997  
*Mimilambrus wileyi* Williams, 1979  
*Minyocerus angustus* (Dana, 1852)  
*Mithraculus cinctimanus* Stimpson, 1860  
*Mithraculus coryphe* (Herbst, 1801)  
*Mithraculus forceps* A. Milne Edwards, 1875  
*Mithraculus ruber* Stimpson, 1871  
*Mithraculus sculptus* (Lamarck, 1818)  
*Mithrax hemphilli* Rathbun, 1892  
*Mithrax hispidus* (Herbst, 1790)

**Continuación de Tabla 8.**

*Mithrax holderi* Stimpson, 1871  
*Mithrax pilosus* Rathbun, 1892  
*Mithrax spinosissimus* Lamarck, 1818  
*Mithrax verrucosus* H. Milne Edwards, 1832  
*Moreiradromia antillensis* Stimpson, 1858  
*Munida angulata* Benedict, 1902  
*Munida constricta* A. Milne-Edwards, 1880  
*Munida evermani* Benedict, 1901  
*Munida flinti* Benedict, 1902  
*Munida forceps* A. Milne Edwards, 1880  
*Munida pusilla* Benedict, 1902  
*Munida stimpsoni* A. Milne Edwards, 1880  
*Munida valida* Smith, 1883  
*Munidopsis abbreviata* (A. Milne-Edwards, 1880)  
*Munidopsis alaminos* Pequegnat y Pequegnat, 1971  
*Munidopsis aries* (A. Milne-Edwards, 1880)  
*Munidopsis armata* (A. Milne-Edwards, 1880)  
*Munidopsis bradleyi* Pequegnat y Pequegnat, 1971  
*Munidopsis brevimanus* (A. Milne-Edwards, 1880)  
*Munidopsis colombiana* Pequegnat y Pequegnat, 1971  
*Munidopsis crassa* Smith, 1885  
*Munidopsis cubensis* Chace, 1942  
*Munidopsis erinaceus* (A. Milne-Edwards, 1880)  
*Munidopsis geryeri* Pequegnat y Pequegnat, 1970  
*Munidopsis longimanus* (A. Milne-Edwards, 1880)  
*Munidopsis platirostris* (A. Milne-Edwards, 1880)  
*Munidopsis polita* (Smith, 1883)  
*Munidopsis ramathaylorae* Pequegnat y Pequegnat, 1971  
*Munidopsis reynoldsi* (A. Milne Edwards, 1880)  
*Munidopsis riveroi* (Chace, 1939)  
*Munidopsis sigsbei* (A. Milne-Edwards, 1880)  
*Munidopsis simplex* (A. Milne-Edwards, 1880)  
*Munidopsis spinoculata* (A. Milne-Edwards, 1880)  
*Munidopsis subspinoculata* Pequegnat y Pequegnat, 1971  
*Myriopsis quinquespinosa* Stimpson, 1871  
*Nancyplax vossi* Lemaitre, García, Gómez, Stenberg y Campos, 2001  
*Nemausa cornutus* (de Saussure, 1857)  
*Neocallichirus lemaitrei* Manning, 1993  
*Neocallichirus rathbunae* (Schinitt, 1935)  
*Neocallichirus sulfureus* (Lemaitre y Felder, 1996)  
*Neopisosoma angustifrons* (Benedict, 1901)  
*Neopisosoma curacaoense* (Schmitt, 1924)  
*Neopisosoma neglectum* Werdling, 1986

*Nephropides caribbaeus* Manning, 1969  
*Nephropsis aculeata* Smith, 1881  
*Nephropsis neglecta* Holthuis, 1974  
*Nephropsis rosea* Bate, 1888  
*Nikoides schmitti* Manning y Chace, 1971  
*Notolopas brasiliensis* Miers, 1886  
*Ocypode quadrata* (Fabricius, 1787)  
*Odontozoma libertae* Gore, 1981  
*Ogyrides alphaerostris* (Kingsley, 1880)  
*Ogyrides yaquiensis* Armstrong, 1949  
*Oncopagurus gracilis* (Henderson, 1888)  
*Opeocarcinus hypostegus* (Shaw y Hopkins, 1977)  
*Oplophorus gracilirostris* A. Milne-Edwards, 1881  
*Osahila antillensis* Rathbun, 1916  
*Ozius reticulatus* (Desbonne y Schramm, 1867)  
*Pachgrapsus gracilis* (Saussure, 1858)  
*Pachgrapsus transversus* (Gibbes, 1850)  
*Pachycheles ackleianus* Milne Edwards, 1880  
*Pachycheles chacei* Haig, 1956  
*Pachycheles monilifer* (Dana, 1852)  
*Pachycheles pilosus* (Milne Edwards, 1837)  
*Pachycheles riisei* (Stimpson, 1958)  
*Pachycheles serratus* (Benedict, 1901)  
*Pachycheles susanae* Gore y Abele, 1973  
*Paguristes cadenati* Forest, 1954  
*Paguristes grayi* Benedict, 1901  
*Paguristes hummi* Wass, 1955  
*Paguristes inconstans* McLaughlin y Provenzano, 1974  
*Paguristes lapillatus* McLaughlin y Provenzano, 1974  
*Paguristes laticlavus* McLaughlin y Provenzano, 1974  
*Paguristes limonensis* McLaughlin y Provenzano, 1974  
*Paguristes oxyophthalmus* Holthuis, 1959  
*Paguristes paraguayensis* McLaughlin y Provenzano, 1974  
*Paguristes punticeps* Benedict, 1901  
*Paguristes starcki* Provenzano, 1965  
*Paguristes tortugae* Schmitt, 1933  
*Paguristes werdingi* Campos y Sánchez, 1995  
*Paguristes zebra* Campos y Sánchez, 1995  
*Pagurus brevidactylus* (Stimpson, 1859)  
*Pagurus criniticornis* (Dana, 1852)  
*Pagurus curacaoensis* (Benedict, 1892)  
*Pagurus longimanus* Wass, 1963  
*Pagurus maclaughlinae* García-Gómez 1982

**Continuación de Tabla 8.**

*Pagurus marshi* Benedict, 1901  
*Pagurus protuberocarpus* McLaughlin, 1982  
*Pagurus provenzanoi* Forest y De Saint Laurent, 1967  
*Pagurus stimpsoni* (A. Milne-Edwards y Bouvier, 1893)  
*Palaemon northropi* (Rankin, 1898)  
*Palaemon pandaliformis* (Stimpson, 1871)  
*Palaemon tenuicornis* Say, 1818  
*Palaemonetes vulgaris* Say, 1818  
*Palicus affinis* (A. Milne-Edwards, 1899)  
*Palicus alternatus* Rathbun, 1897  
*Palicus cursor* A.Milne Edwards, 1880  
*Palicus dentatus*(A. Milne-Edwards, 1880)  
*Palicus faxoni* Rathbun, 1897  
*Palicus floridanus* (Rathbun,1918)  
*Palicus gracilipes* A.Milne Edwards, 1880  
*Palicus sicus* A.Milne Edwards,1880  
*Palicus gracilis* Smith, 1883  
*Palinurellus gundlachi* (von Martens, 1881)  
*Panopeus americanus* Saussure, 1857  
*Panopeus boekei* Rathbun, 1915  
*Panopeus herbstii* (H. Milne Edwards, 1834)  
*Panopeus lacustris* Desbonne, 1867  
*Panopeus occidentalis* (Saussure, 1857)  
*Pantomus parvulus* A.Milne Edwards, 1883  
*Panulirus argus* (Latreille, 1804)  
*Panulirus guttatus* (Laterille, 1804)  
*Panulirus laevicauda* (Laterille, 1817)  
*Paractea rufopunctata nodosa* (Stimpson, 1860)  
*Paracyclois atlantis* Chace, 1939  
*Paragiogurus pilimanus* (A. Milne Edwards, 1880)  
*Paraliomera dispar* (Stimpson, 1871)  
*Paraliomera longimana* (A. Milne Edwards, 1865)  
*Parapagurus alaminos* Lemaitre, 1986  
*Parapagurus nudus* (A. Milne Edwards, 1891)  
*Parapagurus pilosimanus* Smith, 1879  
*Parapandulus longicauda* Rathbun, 1901  
*Parapenaeus politus* (Smith, 1881)  
*Parapetrolisthes tortugensis* (Glassel, 1945)  
*Parapinnixa bouvieri* Rathbun (1918)  
*Parapinnixa cf. beaufortensis* Rathbun, 1918  
*Parapinnixa hendersoni* Rathbun, 1918  
*Parapinnixa magdalenensis* Werding y Müller, 1990  
*Paraponthophilus gracilis* (Smith, 1882)

*Parapontocaris caribbaea* (Boone, 1927)  
*Parapontocaris vicina*(Boone, 1927)  
*Parribacus antarcticus* (Lund, 1793)  
*Parthenope agona* (Stimpson, 1871)  
*Pasiphaea nishiei* Iwasaki, 1990  
*Pelia mutica* (Gibbes, 1850)  
*Penaeopsis serrata* Bate, 1881  
*Percnon gibbesi* (H. Milne Edwards, 1853)  
*Periclimenaeus ascidiarum* Holthuis, 1951  
*Periclimenaeus atlanticus* (Rathbun, 1901)  
*Periclimenaeus bermudensis* (Armstrong, 1940)  
*Periclimenaeus caraibicus* Holthuis, 1951  
*Periclimenaeus maxillulidens* (Schmitt, 1936)  
*Periclimenes americanus* (Kingsley, 1878)  
*Periclimenes anthophilus* Holthuis y Eibl-Eibesfeldt, 1964  
*Periclimenes bowmani* Chace, 1972  
*Periclimenes iridescens* Lebour, 1949  
*Periclimenes longicaudatus* (Stimpson, 1860)  
*Periclimenes meyeri* Chace, 1969  
*Periclimenes pedersoni* Chace, 1958  
*Periclimenes rathbunae* Schmitt, 1924  
*Periclimenes yucatanicus* (Ives, 1891)  
*Persephona lichtensteini* Leach, 1871  
*Persephone crinita* Rthbun, 1931  
*Persephone punctata* (Linnaeus, 1758)  
*Petrochirus diogenes* (Linné, 1758)  
*Petrolisthes amoenus* (Guérin, 1855)  
*Petrolisthes armatus* (Gibbes, 1850)  
*Petrolisthes caribensis* Werding, 1983  
*Petrolisthes cessacii* (A. Milne Edwards, 1878)  
*Petrolisthes columbiensis* Werding, 1983  
*Petrolisthes dissimulatus* Gore, 1983  
*Petrolisthes galathinus* (Bosc, 1802)  
*Petrolisthes jugosus* Streets, 1872  
*Petrolisthes magdalenensis* Werding, 1978  
*Petrolisthes marginatus* Stimpson, 1859  
*Petrolisthes politus* (Gray, 1831)  
*Petrolisthes quadratus* Benedict, 1901  
*Petrolisthes rosariensis* Werding, 1978  
*Petrolisthes tonsorius* Haig, 1960  
*Petrolisthes tridentatus* Stimpson, 1859  
*Phimochirus holthuisi* (Provenzano, 1961)  
*Phimochirus operculatus* (Stimpson, 1859)

**Continuación de Tabla 8.**

*Phylladorhynchus caribensis* Shuler Mayo, 1972  
*Piloslambrus guerini* (Brito Capello, 1871)  
*Pilumnus caribaeus* Desbonne Schramm, 1867  
*Pilumnus cf. limosus* Smith, 1869  
*Pilumnus dasypodus* Kingsley, 1879  
*Pilumnus floridanus* Stimpson, 1871  
*Pilumnus gemmatus* Stimpson, 1860  
*Pilumnus holosericus* Rathbun, 1898  
*Pilumnus lacteus* Stimpson, 1871  
*Pilumnus pannosus* Rathbun, 1896  
*Pilumnus reticulatus* Stimpson, 1860  
*Pilumnus sayi* Rathbun, 1897  
*Pinnixa chaetoptereana* Stimpson, 1860  
*Pinnotheres ostreum* Say, 1817  
*Pisidia brasiliensis* Haig (in Rodrigues da Costa, 1968)  
*Pitho aculeata* (Gibbes, 1850)  
*Pitho anisodon* (von Martens, 1872)  
*Pitho laevigata* (A. Milne Edwards, 1875)  
*Pitho lherminieri* (Schramm, 1867)  
*Plagusia depressa* (Fabricius, 1775)  
*Platyactaea setigera* (Milne Edwards, 1834)  
*Platylambrus fraterculus* (Stimpson, 1871)  
*Platylambrus granulata* (Kingsley, 1879)  
*Platylambrus pourtalesii* (Stimpson, 1871)  
*Platylambrus serratus* (H. Milne Edwards, 1834)  
*Platypodiella spectabilis* (Herbst, 1794)  
*Pleoticus robustus* (Smith, 1885)  
*Plesionika acanthonotus* (Smith, 1882)  
*Plesionika edwardsii* (Brandt, 1851)  
*Plesionika ensis* (A.Milne Edwards, 1888)  
*Plesionika gigliolli* (Senna, 1903)  
*Plesionika laevis*(A.Milne Edwards, 1888)  
*Plesionika longicauda* (Rathbun, 1901)  
*Plesionika longipes* A. Milne-Edwards, 1881  
*Plesionika miles*(A. Milne- Edwards, 1883)  
*Plesionika tenuipes* (Smith 1881)  
*Plesionika willei* (Pequegnat, 1970)  
*Podochela algicola* Stebbing, 1914  
*Podochela gracilipes* Stimpson, 1871  
*Podochela grossipes* Stimpson, 1860  
*Podochela lamelligera* (Stimpson, 1871)  
*Podochela macrodera* Stimpson, 1860  
*Polycheles perarmatus* Holthuis, 1952

*Polycheles sculptus* Smith, 1880  
*Polycheles typhlops* C. Heller, 1862  
*Pomatogebia operculata* (Schmitt, 1924)  
*Porcellana lillyae* A. Milne Edwards, 1880  
*Porcellana sayana* (Leach, 1820)  
*Porcellana sigsbeiana* A. Milne Edwards, 1880  
*Portunus (Achelous) depressifrons* (Stimpson, 1859)  
*Portunus (Achelous) ordwayi* (Stimpson, 1860)  
*Portunus (Achelous) sebae* (H. Milne Edwards, 1834)  
*Portunus (Achelous) spinicarpus* (Stimpson, 1871)  
*Portunus (Achelous) spinimanus* Latreille, 1819  
*Portunus (Portunus) anceps* (Saussure, 1858)  
*Portunus (Portunus) gibbesii* (Stimpson, 1859)  
*Portunus (Portunus) ventralis* (A. Milne Edwards, 1879)  
*Portunus binoculus* Holthuis, 1969  
*Prionocrangon pectinata* Faxon, 1896  
*Processa bermudensis* (Rankin, 1900)  
*Processa fimbriata* Manning y Chace, 1971  
*Processa intermedia* Holthuis, 1951  
*Processa parva* Holthuis, 1951  
*Processa profunda* Manning and Chace, 1971  
*Psalidopus barbouri* Chace, 1939  
*Pseudocoutierea antillensis* Chace, 1972  
*Pseudocoutierea conchae* Criales, 1981  
*Pseudocoutierea edentata* Criales, 1981  
*Pylopaguroopsis atlantica*, Wass, 1963  
*Pylopagurus discoidalis* (A. Milne-Edwards, 1880)  
*Pylopagurus macgeorei* McLaughlin y Lemaitre, 2001  
*Pylopagurus pattiae* Lemaitre y Campos, 1993  
*Pyromaia acanthina* Lemaitre, Campos y Bermudez, 2001  
*Pyromaia cuspidata* Stimpson, 1871  
*Pyromaia propinqua* Chace, 1940  
*Randallia curacaoensis* Rathbun, 1922  
*Ranilia constricta* (A. Milne Edwards, 1880)  
*Ranilia muricata* H. Milne Edwards, 1837  
*Raninoides lamarcki* A. Milne Edwards y Bouvier, 1823  
*Raninoides loevis* (Latreille, 1825)  
*Raninoides louisianensis* Rathbun, 1933  
*Rhodochirus rosaceus* (A. Milne Edwards y Bouvier, 1893)  
*Rimapenaeus constrictus* (Stimpson, 1874)  
*Rimapenaeus similis* (Smith, 1885)  
*Rochinia crassa* (A. Milne Edwards, 1879)  
*Salmoneus ortmanni* (Rankin, 1898)

**Continuación de Tabla 8.**

*Scylalrus chacei* Holthuis, 1960  
*Scyllarides aequinoctialis* (Lamarck, 1793)  
*Scyllarides delfosi* Holthuis, 1960  
*Scyllarus planorbis* Holthuis, 1969  
*Scyllaruss depressus* (Smith, 1881)  
*Sergestes edwardsii* Kröyer, 1855  
*Sicyonia brevirostris* Stimpson, 1871  
*Sicyonia burkenroadi* Cobb, 1971  
*Sicyonia dorsalis* Kingsley, 1878  
*Sicyonia laevigata* Stimpson, 1871  
*Sicyonia parri* (Burkenroad, 1934)  
*Sicyonia stimpsoni* Bouvier, 1905  
*Sicyonia typica* (Boeck, 1864)  
*Solenocera acuminata* Pérez-Farfante y Bullis, 1973  
*Solenocera atlantidis* Burkenroad, 1939  
*Solenocera necopina* Burkenroad, 1939  
*Solenocera vioscai* Burkenroad, 1934  
*Solenolambrus typicus* Stimpson, 1871  
*Speleophorus pontifer* (Stimpson, 1871)  
*Speocarcinus carolinensis* Stimpson, 1859  
*Sphenocarcinus corrosus* A. Milne-Edwards, 1878  
*Stenocionops furcata* (Olivier, 1791)  
*Stenocionops spinosissima* Saussure, 1857  
*Stenopus hispidus* (Olivier, 1811)  
*Stenopus scutellatus* Rankin, 1898  
*Stenopus semilaevis* v. Martens, 1872  
*Stenorhynchus seticornis* (Herbst, 1788)  
*Stenorhynchus yangii* Goeke, 1989  
*Symethis varilosa* (Fabricius, 1793)  
*Sympagurus pictus* Smith, 1883  
*Synalpheus apioceros* Coutière, 1909  
*Synalpheus brooksi* Coutière, 1909  
*Synalpheus curacaoensis* Schmitt, 1924  
*Synalpheus flidigitus* Armstrong, 1949  
*Synalpheus fritzmuelleri* Coutière, 1909  
*Synalpheus goodei* Coutière, 1909  
*Synalpheus herricki* Coutière, 1909  
*Synalpheus latastei tenuispina* Coutière, 1909  
*Synalpheus longicarpus* (Herrick, 1891)  
*Synalpheus minus* (Say, 1818)  
*Synalpheus near rathbunae* Coutière, 1909  
*Synalpheus pandionis* Coutière, 1909  
*Synalpheus paraneptunus* Coutière, 1909

*Synalpheus sanctithomae* Coutière, 1909  
*Synalpheus scaphoceris* Coutière, 1908  
*Synalpheus townsendi* Coutière, 1909  
*Systellaspispellucida* (Filhol, 1885)  
*Tanypenaeus caribaeus* Pérez Farfante, 1972  
*Teleophrys ornatus* Rathbun, 1900  
*Teleophrys pococki* Rathbun, 1924  
*Tetraxanthus rathbubae* Chace, 1939  
*Thoe aspera* Rathbun, 1900  
*Thoe puella* Stimpson, 1860  
*Thor paschalis*, Heller, 1862  
*Thor amboinensis* (De Man, 1888)  
*Thor floridanus* Kingsley, 1878  
*Thor manningi* Chace, 1972  
*Thunor rathbunae* (Schmitt, 1924)  
*Thunor simus* (Guérin-Méneville, 1856)  
*Thyrolambrus asteroides* Rathbun, 1894  
*Tomopagurus chacei* (Wass, 1963)  
*Tomopagurus wassi* McLaughlin, 1981  
*Tozeuma carolinense* Kingsley, 1878  
*Tozeuma serratum* A. Milne Edwards, 1881  
*Trachipeneopsis mobilispinis* (Rathbun, 1915)  
*Trachycaris restricta* cf. (A. Milne-Edwards, 1978)  
*Trachycaris rugosus* (Bate, 1888)  
*Trichopeltarion nobile* A. Milne Edwards, 1880  
*Troglocarcinus corallicola* Verrill, 1908  
*Tyche emarginata* White, 1847  
*Typton vulcanus* Holthuis, 1951  
*Uca (Leptuca) leptodactylus* Rathbun, 1898  
*Uca (Leptuca) pugilator* (Bosc, 1802)  
*Uca (Minuca) buergersi* Holthuis, 1967  
*Uca (Minuca) minax* (LeConte, 1855)  
*Uca (Minuca) mordax* (Smith, 1870)  
*Uca (Minuca) rapax* (Smith, 1870)  
*Uca (Minuca) vocator* (Herbst, 1804)  
*Ucides cordatus cordatus* (Linnaeus, 1763)  
*Uhlias limbatus* Stimpson, 1871  
*Upogebia jamaicensis* Thisle, 1973  
*Upogebia omissa* Gomes Correa, 1968  
*Upogebia pillsbury* Willimas, 1993  
*Upogebia vasquezi* Ngoc-Ho, 1989  
*Uroptychus uncifer* (A. Milne-Edwards, 1880)  
*Xanthodius denticulatus* (White, 1847)

**Continuación de Tabla 8.**

*Xanthodius parvulus* (Fabricius, 1793)  
*Xiphopenaeus kroyeri* (Heller, 1862)  
*Xylopagurus anthony* Lemaitre, 1995  
*Xylopagurus tayrona* Lemaitre y Campos, 1993  
*Zygopa michaelis* Holthuis, 1960

## EQUINODERMOS DE LA PLATAFORMA Y LA FRANJA SUPERIOR DEL TALUD CONTINENTAL DEL CARIBE COLOMBIANO

*Milena Benavides-Serrato<sup>1</sup> y Giomar Helena Borrero-Pérez<sup>2</sup>*



1. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - Invemar, Programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos, Museo de Historia Natural Marina de Colombia, Cerro de Punta Betín, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: milena\_benavides@invemar.org.co

2 Universidad de Murcia, Departamento de Ecología e Hidrología, Sede Espinardo, 30100 Murcia, España. Correo electrónico: gborrero@um.es

**Figura separador:** *Comactinia* sp. Macrofauna II. E88, recolectado en Punta Gallinas a 73 m de profundidad

## RESUMEN

El conocimiento de los equinodermos en Colombia se ha incrementado sustancialmente desde 1998 gracias a investigaciones realizadas de manera conjunta por entidades nacionales e internacionales. El objetivo de éste capítulo es presentar los resultados taxonómicos y ecológicos obtenidos en las expediciones Macrofauna I, Macrofauna II y ANH I, realizadas sobre los fondos blandos de la plataforma y la franja superior del talud continental del Caribe colombiano, entre 20 y 1000 m de profundidad. Se encontraron 188 especies pertenecientes a 117 géneros, 54 familias, 22 órdenes y 5 clases. Se registró por primera vez para Colombia 81 especies. La clase Ophiuroidea fue la más abundante y rica. Los análisis de clasificación y ordenación permitieron detectar cuatro conglomerados de estaciones relacionados con la profundidad: el primero de aguas someras (20-70 m de profundidad) caracterizado por *Astropecten antillensis* y *Ophiura acervata*; otro en aguas intermedias (150 m de profundidad) caracterizado por el erizo *Clypeaster euclastus*; el tercero, a 300 m, caracterizado por *Caryometra atlantidis* y *Amphiura rathbuni*; y el último de ellos entre 500 y 940 m por el ofiuro *Ophiernus adpersus adpersus* y la estrella *Cheiraster (Chiraster) planus*. Finalmente, se presentan algunas perspectivas del estudio de los equinodermos en el Caribe colombiano.

**Palabras clave:** Equinodermos, Caribe colombiano, plataforma continental, talud continental, biodiversidad marina.

## ABSTRACT

The knowledge of Colombian echinoderms has substantially increased since 1998 as the result of cooperative research performed between national and international institutions. The goal of this chapter is to offer the taxonomic and ecologic results obtained during the

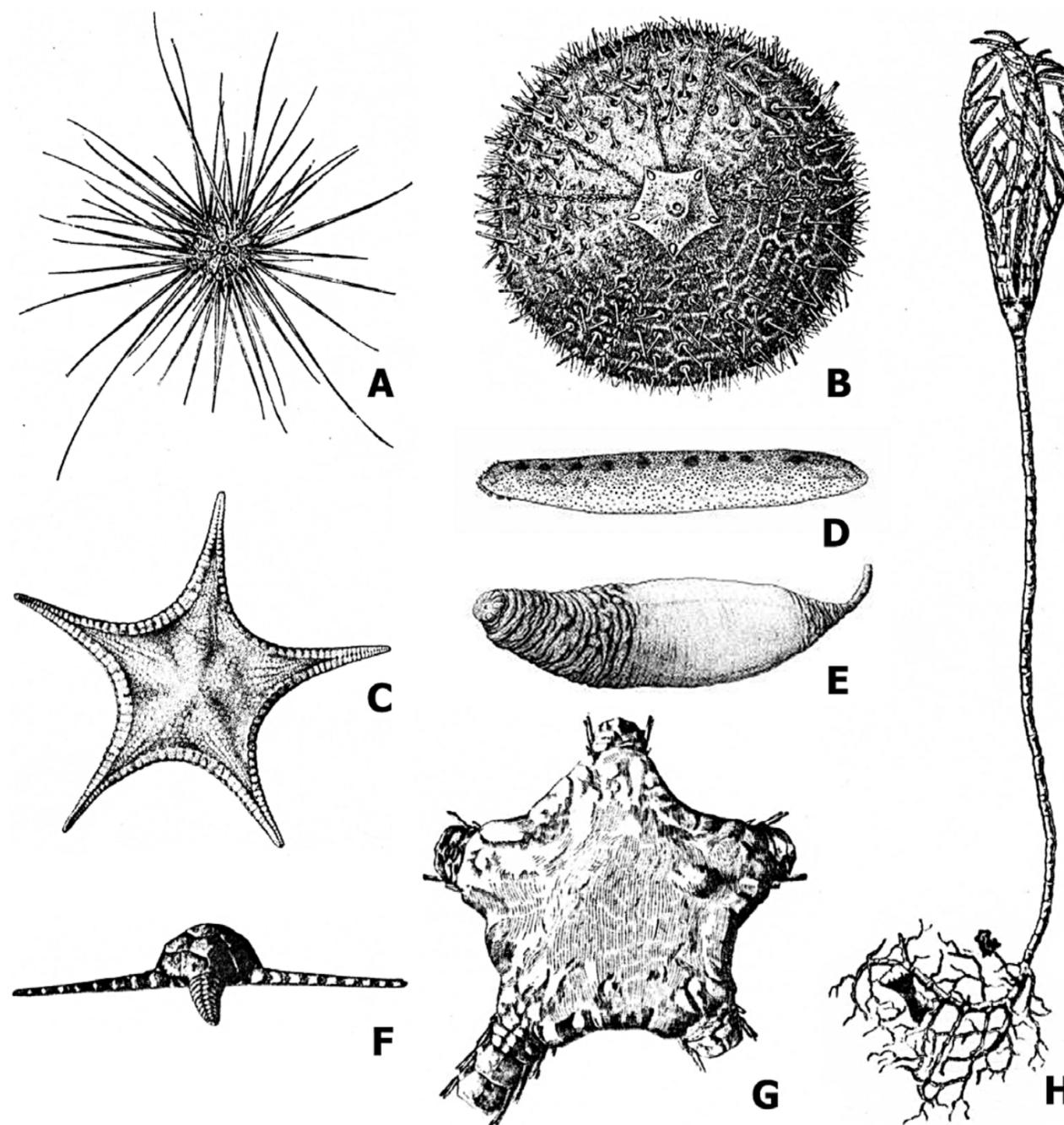
expeditions Macrofauna I, Macrofauna II and ANH I, performed on soft bottoms of the continental shelf and upper slope of the Colombian Caribbean Sea, between 20-1000 m depth. A total of 188 species were collected, belonging to 117 genera, 54 families, 22 orders and 5 classes. For the first time, 81 species of echinoderms are recorded for Colombian Caribbean waters. The Ophiuroidea class was the most abundant and rich taxa. Using ordination and cluster analysis, four conglomerates were detected by depth: the first, shallow waters (20-70 m depth) with *Astropecten antillensis* and *Ophiura acervata* as characteristic species; intermediate waters (150 m depth) characterized with the sea urchin *Clypeaster euclastus*; the third, to 300 m depth, with *Caryometra atlantidis* and *Amphiura rathbuni* as characteristic species and the last, between 500 and 940 m depth with the brittle star *Ophiernus adpersus adpersus* and the sea star *Cheiraster (Chiraster) planus* as characteristic species. An analysis of perspectives studies of echinoderms in Caribbean Colombia is also presented.

**Key words:** Echinoderms, Colombian Caribbean Sea, continental shelf, upper slope, marine biodiversity.

## INTRODUCCIÓN

### Definición del grupo

Los equinodermos son un grupo de invertebrados marinos que incluye a las plumas de mar, estrellas, estrellas quebradizas, erizos y pepinos (Figura 1). Estos invertebrados se diferencian de los demás organismos por presentar un esqueleto de carbonato de calcio, un sistema vascular acuífero único que está involucrado principalmente en la alimentación y la locomoción, y una simetría radial pentámera. Estas características pueden variar entre los grupos que componen el phylum, encontrándose por ejemplo, algunos pepinos de mar que no presentan calcita en su pared corporal o especies de erizos y pepinos con simetría bilateral secundaria.



**Figura 1.** Principales representantes de equinodermos colectados en las exploraciones Macrofauna I, Macrofauna II y ANH I. CLASE ECHINOIDEA: A. *Coelopleurus floridanus*; B. *Phormosoma placenta*. CLASE ASTEROIDEA: C. *Anthenoides piercei*. CLASE HOLOTHUROIDEA: D. *Holothuria (Vaneyothuria) lentiginosa enodis*; E. *Molpadia oolitica*. CLASE OPHIUROIDEA: F. *Ophiomastus secundus*; G. *Ophiopaepale goesiana*. CLASE CRINOIDEA: *Rhizocrinus lofotensis*. Modificado de A. Agassiz 1888 y Pawson 2008.

Quizás la única característica compartida al interior de los equinodermos es su restricción a habitar ambientes marinos. La mayoría son estenohalinos y están adaptados a salinidades normales (30-36); sin embargo algunas especies pueden tolerar salinidades entre 20 y 40. Se pueden encontrar en todos los océanos desde las zonas litorales hasta profundidades mayores a 6000 m, donde pueden constituir más del 90% de la biomasa bentónica. Con excepción de algunos pepinos pelágicos, todos los equinodermos están asociados al fondo, ocupando todas las categorías tróficas. La mayoría de estrellas son carnívoras, en algunos casos altamente especializadas, mientras que los lirios de mar son filtradores, y los pepinos son principalmente detritívoros. Muchas especies de equinodermos son consideradas especies clave, ya que regulan la estructura y el balance de las comunidades, permitiendo el reciclaje de nutrientes y la supervivencia de otros organismos (Birkeland 1988). Así mismo, especies de erizos y pepinos son muy apreciados para el consumo humano, principalmente en los países asiáticos, donde son un recurso pesquero de gran importancia económica (Toral-Granda *et al.* 2008).

Se ha postulado que los equinodermos, junto con los hemicordados (invertebrados marinos de aspecto vermiforme), se constituyen en el grupo de organismos más relacionado con los cordados, debido a que comparten la característica de ser deuterostomados, es decir, organismos en los cuales la boca del adulto no deriva de la primera abertura del embrión (Bourlat *et al.* 2006, Pawson 2007).

El origen de los equinodermos puede ser trazado desde el Cámbrico temprano, hace más de 600 millones de años, período en que eran muy comunes y diversos. Se han descrito aproximadamente 16 clases de equinodermos extintas, con más de 13000 especies fósiles. Actualmente, el phylum comprende aproximadamente 7000 especies en cinco clases: Crinoidea (plumas de mar, 650 especies), Asteroidea (estrellas de mar, 2100 especies), Ophiuroidea (estrellas quebradizas, 2000 especies), Echinoidea (erizos de mar, 800 especies) y Holothuroi-

dea (pepinos de mar, 1400 especies) (Pawson 2007). En 1986, Baker *et al.* describieron una sexta clase, la Concentricycloidea; después de numerosas opiniones acerca del estatus de estos equinodermos y estudios basados en caracteres morfológicos y moleculares, se concluyó que los concentricycloideos pertenecen a la clase Asteroidea (Mah 2006).

Las relaciones entre las cinco clases existentes continua siendo motivo de discusión, sin embargo, caracteres moleculares y morfológicos obtenidos de organismos actuales y fósiles apoyan la hipótesis clásica de tres grupos mayores: “Echinoidea + Holothuroidea, Asteroidea + Ophiuroidea, y Crinoidea” (Pawson 2007).

### Equinodermos a nivel global

La historia del Phylum Echinodermata está llena de confusiones, empezando con la ubicación de los equinodermos dentro de lo que se conocía como “Mollusca”, una subdivisión de “Vermes”. Después de varios cambios en su ubicación taxonómica, se estableció a Echinodermata como un phylum separado (Pawson 2007). En los últimos 160 años se han dado progresos importantes en la clasificación de los niveles taxonómicos más altos, dentro de los equinodermos fósiles y los recientes, con trabajos como los de Bather (1900), Cuénot (1948) y Hyman (1955). Durante la década de los sesenta y setenta, se revisó la taxonomía del grupo, lo que implicó una era de grandes cambios en el conocimiento del phylum. Los resultados más importantes fueron presentados dentro del volumen Echinodermata del “Treatise on Invertebrate Paleontology” (Moore 1966–1978), trabajo que estimuló la realización de muchos estudios de investigación, particularmente en los grupos fósiles (Pawson 2007).

En los últimos 40 años los análisis moleculares han ofrecido nuevas y potentes herramientas, que en combinación con la morfología, han permitido realizar cambios importantes en la clasificación a nivel de familia, orden e incluso clase (Pawson 2007). Durante la

última década, han sido publicados numerosos trabajos recopilatorios sobre equinodermos recientes y fósiles, entre los que se destacan: Mooi y Telford (1998), Barker (2001), Jangoux y Lawrence (2001), Féral y David (2001), Kasyanov (2001), Heinzeller y Nebelsick (2004) y Matranga (2005).

### Información de los equinodermos en el Atlántico y Caribe

Las expediciones realizadas por el H.M.S. Challenger (1872-1876), Blake (1877-1886) y Albatross (1899-1900), en el siglo XIX, se pueden considerar como el inicio del estudio de los equinodermos en el mar Caribe. Ellas aportaron abundante material biológico proveniente de aguas someras y profundas de diferentes lugares del Caribe como Puerto Rico, Jamaica, Cuba, Bermuda, Tobago, Islas Caimán, Islas Vírgenes, Curaçao, Aruba, Bonaire, Venezuela y la costa de la Guyana Francesa. El material fue identificado principalmente por H.L. Clark (1898, 1901a, 1901b, 1919, 1933, 1941, 1942), Engel (1939), Cherbonier (1959), y Aberson y Engel (1960), quienes también estudiaron aspectos ecológicos de las especies. El trabajo más reciente es el de Hendler *et al.* (1995), quienes presentaron una guía de identificación e información biológica y ecológica de 150 especies de equinodermos de todas las clases de aguas someras (0 a 33 m) de los cayos de la Florida, las Islas Bahamas y el Caribe.

Para la mayoría de las clases de equinodermos se cuenta con trabajos importantes que recopilan principalmente información taxonómica de cada una de ellas, así como trabajos menores de cierta relevancia para el océano Atlántico y/o el mar Caribe. En el caso de los crinoideos se destacan los trabajos de Carpenter (1884), quien recopiló la información taxonómica, morfológica y ecológica de las especies de crinoideos pedunculados existente hasta la fecha. H.L. Clark (1915, 1921, 1931, 1941, 1947 y 1950) y A.H. Clark y A.M. Clark (1967) publicaron en varios tomos una monografía de los crinoideos del orden Comatulida existentes hasta esa fecha en todos los mares. Tommasi (1971) y Messing y Dearborn (1990) re-

gistraron algunas especies de crinoideos pedunculados y comatúlidos para el Atlántico. Para la clase Asteroidea se destaca el trabajo de A.M. Clark y Downey (1992) quienes realizaron una completa revisión de los asteroideos del Atlántico, presentando claves taxonómicas, descripciones morfológicas y la distribución geográfica y batimétrica de siete órdenes, 21 familias, 140 géneros y 374 especies o subespecies reconocidas. Aunque para la clase Ophiuroidea no se encuentra un trabajo que recopile la información sobre ella y sirva de base para el trabajo taxonómico, puede considerarse como uno de los trabajos más completos el de H.L. Clark (1915) quien publicó información sobre 1412 especies de ofiuros, describiendo 35 especies nuevas. Lyman es el autor que más ha estudiado esta clase, presentando las descripciones originales de la mayoría de los ofiuros colectados en las Antillas, el Caribe y el Golfo de México (Lyman 1865, 1869, 1871, 1874, 1875, 1878a, b, 1879, 1882, y 1883). Por otro lado, Paterson (1985) se encargó de estudiar los ofiuros de profundidad del Atlántico norte describiendo 120 especies aproximadamente; revisó la familia Ophiacanthidae y propuso cuatro subfamilias. Tommasi (1970) presentó una lista con claves taxonómicas, descripciones y distribución vertical y horizontal de 65 especies de ofiuros conocidos en Brasil y describió cinco especies nuevas.

La taxonomía de la clase Echinoidea se basa en la monografía de Mortensen, quien en varios tomos (1928, 1935, 1940, 1943a, b, 1948a, b, 1950 y 1951) resumió la información existente hasta la fecha de todas las especies de erizos descritas en el mundo, incluyendo la descripción de nuevas especies y claves taxonómicas. Entre los trabajos específicos vale la pena mencionar el de Pérez-Farfante (1959) quien hizo una recopilación sobre las especies de erizos irregulares de Cuba, el de Chesher (1968) que describió detalladamente algunas especies del orden Spatangoida del mar Caribe, y el de Serafý (1979) que trabajó en el Golfo de México y aguas adyacentes. En la clase Holothuroidea se destacan los trabajos realizados por Deichmann quien presentó descripciones completas, nuevas especies y claves taxonó-

micas para las especies del océano Atlántico (1930), las Antillas (1940) y el Golfo de México (1954). Pawson y Fell (1965) revisaron la clasificación del orden Dendrochirota proponiendo el orden Dactylochirota y además presentaron descripciones de los otros órdenes de ésta clase. Miller y Pawson (1984), registraron los holotúridos del Golfo de México y aguas adyacentes con notas taxonómicas, ecológicas, batimétricas y de distribución.

### Información de los equinodermos en el Caribe colombiano

Hasta 1998, se consideraba que el conocimiento de los equinodermos del Caribe colombiano era escaso, tanto para aguas someras como profundas.

Para las aguas someras se destacan los trabajos de Allain (1976), Meyer y Macurda (1976), Caycedo (1978 y 1979), Álvarez (1981) y Gallo (1985, 1988a y 1988b), quienes publicaron listados y notas ecológicas de los equinodermos distribuidos a lo largo del Caribe colombiano. Hasta el momento se han descrito tres especies nuevas para la ciencia, *Ctenantedon kinziei* (Meyer 1972), *Holothuria thomasi* (Pawson y Caycedo 1980) y *Ophiothrix synoecina* (Schoppe 1996).

Con respecto a aguas profundas, los pocos registros que se tenían hasta 1998 eran el resultado de algunos cruceros de investigación que muestrearon algunas estaciones ubicadas en aguas colombianas. Se destacan los cruceros realizados por el barco Oregon que en 1963 realizó cinco exploraciones de pesca: Oregon I, 87, 92 y 104 y Oregon II, 4 y 22 (Palacio 1974). En 1966 y 1968 el barco de investigaciones de la universidad de Miami R/V Jhon Elliot Pillsbury trabajó en las costas de Panamá, Colombia, Venezuela, Surinam y la Guyana Francesa (Voss 1966, Bayer *et al.* 1970).

En el marco de las expediciones CIOH-Invenmar-Smithsonian, Macrofauna I-II, Marcoral y ANH I-II, realizadas a partir de 1995, se desarrolló una nueva etapa en el estudio de la biodiversidad marina de Colombia

con la exploración de fondos blandos de la plataforma y el talud superior del Caribe colombiano, entre 20 y 1000 m de profundidad. Como parte fundamental de este proceso, fue la consolidación del Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC) y el Sistema de Información sobre Biodiversidad Marina de Colombia (SIBM), a través del cual se tiene acceso a las colecciones del MHNMC, entre las que se encuentra la de los equinodermos.

El grupo de los equinodermos fue muy rico en especies después de los moluscos y los crustáceos (Decapoda). Con respecto a los primeros registros, seis pertenecen a la clase Crinoidea (Benavides-Serrato y Borrero-Pérez 2000); 24 a la clase Asteroidea (Benavides-Serrato *et al.* 2005 y González *et al.* 2002); 42 a la clase Ophiuroidea (Borrero-Pérez *et al.* 2008 y González *et al.* 2002); ocho a la clase Echinoidea (Borrero-Pérez *et al.* 2002b, Borrero-Pérez *et al.* 2004a y González *et al.* 2002) y 11 a la clase Holothuroidea (Borrero-Pérez *et al.* 2003a y González *et al.* 2002). Gracias a la exploración Macrofauna II se registró por primera vez para el Caribe la ofiura *Ophiozygus disacanthus* encontrada anteriormente en Japón en 1911 y en el Golfo de México en 1995 (Borrero-Pérez y Benavides-Serrato 2004b). Por otro lado, se registró por primera vez el erizo *Clypeaster ravenelii*, cuya distribución en el Caribe es poco conocida (Borrero-Pérez y Benavides Serrato 2004a).

Con base en esta información se han estudiado los patrones de distribución y abundancia de los equinodermos de la plataforma y talud continental del Caribe colombiano (Benavides-Serrato *et al.* 2001; Borrero-Pérez *et al.* 2003b). Aspectos ecológicos de toda la comunidad de equinodermos, entre los 20 y los 500 m, se han analizado y presentado en varias conferencias internacionales y revistas indexadas (Borrero-Pérez *et al.* 2003b, Reyes-Forero *et al.* 2005). Así mismo, se han realizado con ellos análisis zoogeográficos preliminares (Benavides-Serrato *et al.* 2003).

## RESULTADOS

### Composición faunística

Se estudiaron 93 estaciones entre 20 y 940 m de profundidad dentro de los proyectos Macrofauna I, Macrofauna II y ANH I. Se encontraron en total 17876 individuos, pertenecientes a 188 especies, distribuidas en 5 clases, 22 órdenes, 54 familias y 117 géneros.

Como producto de estos proyectos, se encontraron como primeros registros para el Caribe colombiano 81 especies de las clases Crinoidea, Asteroidea, Ophiuroidea, Echinoidea y Holothuroidea (Borrero-Pérez *et al.* 2002a, Borrero-Pérez *et al.* 2002b, Borrero-Pérez *et al.* 2003a, Borrero-Pérez y Benavides-Serrato 2004a, Borrero-Pérez y Benavides-Serrato 2004b, Benavides-Serrato *et al.* 2005, Borrero-Pérez *et al.* 2008).

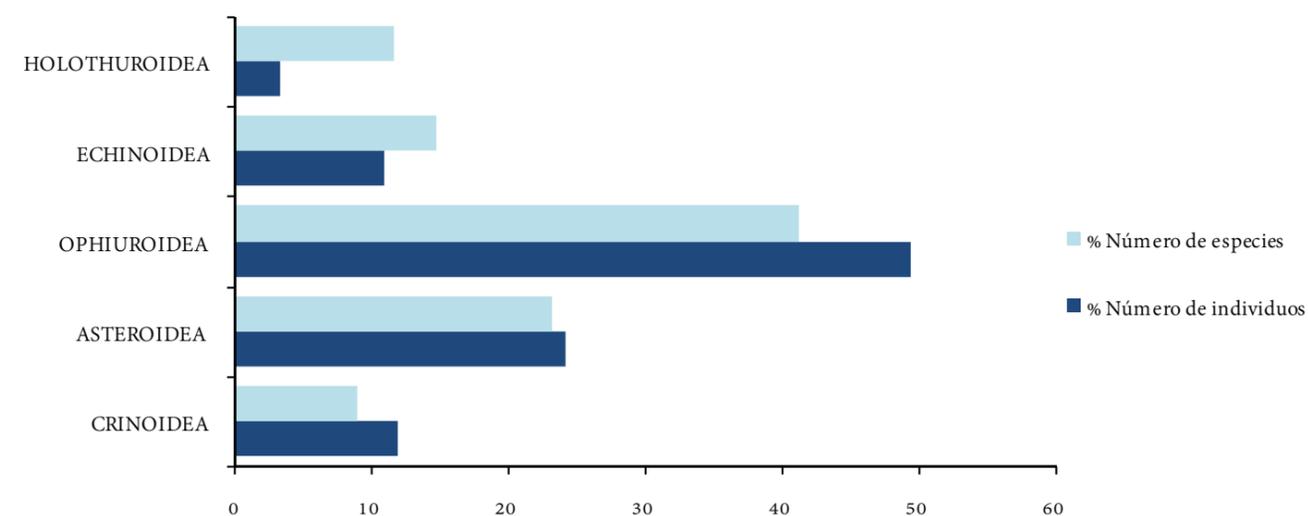
La clase Ophiuroidea fue la más rica (número de especies) y abundante (número de individuos), con el 41% y el 49% respectivamente (Figura 2). Las familias

más ricas fueron Ophiuridae, Amphiuridae y Comasteridae, y las más abundantes Ophiuridae, Astropectinidae y Ophiacanthidae (Figura 3).

Las diez especies más abundantes representaron el 54,3% del total de los individuos, siendo la más abundante *Ophiocamax fasciculata* (10,4%), seguida por *Ophiura acervata* (9,7%), *Astropecten antillensis* (6,5%) y *Analcidometra armata* (5,8%) (Tabla 1).

Las especies más frecuentes fueron *Ophiomusium eburneum*, *Persephonaster echinulatus* (figura 4), *Ophiura acervata* e *Histampica duplicata* (figura 5). Algunas especies con baja frecuencia tuvieron una alta abundancia en algunas estaciones como *Analcidometra armata*, *Ophiothrix (Acanthophiothrix) suenonii*, Ophiodermathidae sp. y *Ophiocamax histrix* (Tabla 1).

En general, sean las especies abundantes o no o tengan alta o baja frecuencia, ellas alcanzan un 60% de su abundancia en pocas estaciones, lo que podría estar reflejando un patrón de distribución agregado (Tabla 1).



**Figura 2.** Distribución porcentual de los individuos y especies por clase del phylum Echinodermata encontrados en los proyectos Macrofauna I, Macrofauna II y ANH I en el Caribe Colombiano.

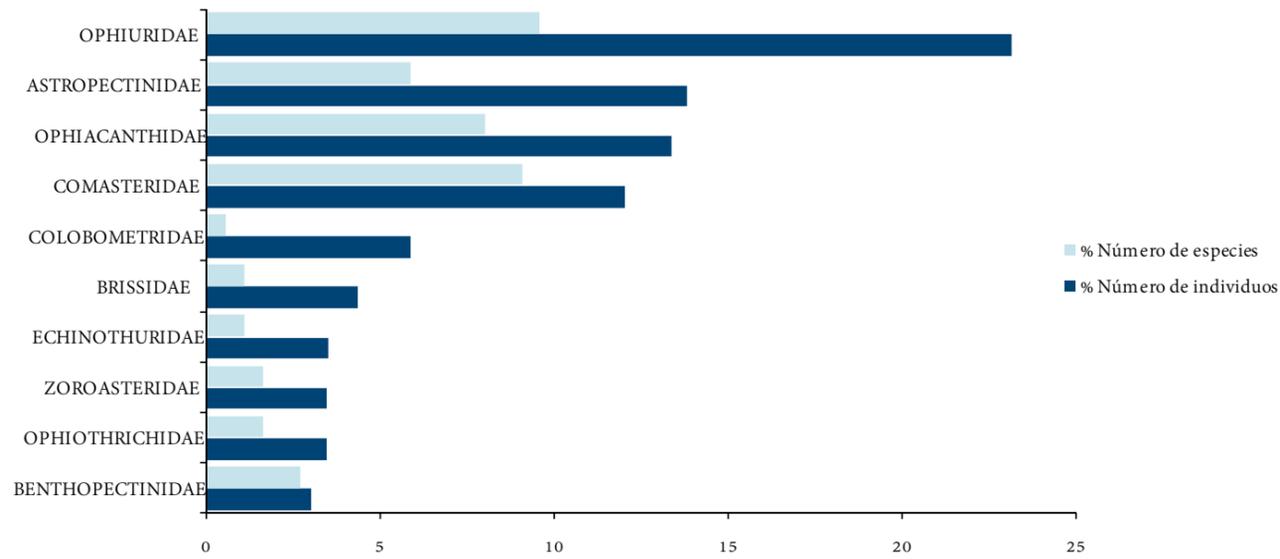


Figura 3. Distribución porcentual de los individuos y especies de las familias con mayor abundancia y riqueza del phylum Echinodermata encontradas en los proyectos Macrofauna I, Macrofauna II y ANH I en el Caribe colombiano.

Tabla 1. Número total de individuos (N), porcentaje de abundancia relativa (AR, (%)), porcentaje de abundancia relativa acumulada (ARA, (%)) y frecuencia (F) de las 25 especies de equinodermos más abundantes. C: Crinoidea; A: Asteroidea; O: Ophiuroidea; E: Echinoidea; H: Holothuroidea

Especies	N	AR (%)	ARA (%)	F
<i>Ophiocamax fasciculata</i> Lyman, 1883 (O)	1858	10,39	10,39	22
<i>Ophiura acervata</i> (Lyman, 1869) (O)	1743	9,75	20,14	36
<i>Astropecten antillensis</i> Lütken, 1859 (A)	1156	6,47	26,61	18
<i>Analcidometra armata</i> (Pourtales, 1869) (C)	1044	5,84	32,45	6
<i>Ophiernus adpersus adpersus</i> Lyman, 1883 (O)	1011	5,66	38,11	28
<i>Astropecten americanus</i> Verrill, 1880 (A)	714	3,99	42,10	24
<i>Brissopsis atlantica</i> Mortensen, 1907 (E)	672	3,76	45,86	16
<i>Comactinia meridionalis</i> (L. Agassiz, 1865) (C)	575	3,22	49,08	17
<i>Phormosoma placenta</i> Wyville Thomson, 1874 (E)	492	2,75	51,83	28
<i>Ophiothrix (Acanthophiothrix) suensoni</i> Lütken, 1856 (O)	442	2,47	54,30	7
<i>Cheiraster (Cheiraster) planus</i> Verrill, 1915 (A)	398	2,23	56,53	25
Ophiidermatidae sp. (O)	347	1,94	58,47	1
<i>Doraster constellatus</i> Downey, 1970 (A)	314	1,76	60,23	17
<i>Histampica duplicata</i> (Lyman, 1875) (O)	302	1,69	61,92	28
<i>Ophiomusium eburneum</i> Lyman, 1869 (O)	266	1,49	63,41	47
<i>Astropecten alligator</i> Perrier, 1881 (A)	239	1,34	64,75	26
<i>Persephonaster echinulatus</i> H.L. Clark, 1941 (A)	236	1,32	66,07	39
<i>Caryometra atlantis</i> A.H. Clark, 1940 (C)	235	1,31	67,38	22
<i>Nymphaster arenatus</i> (Perrier, 1881) (A)	223	1,25	68,63	27
<i>Amphiura rathbuni</i> Koehler, 1914 (O)	218	1,22	69,85	25
<i>Ophiomusium validum</i> Ljungman, 1872 (O)	209	1,17	71,02	17
<i>Amphiophiura metabula</i> H.L. Clark, 1915 (O)	200	1,12	72,14	16

Especies	N	AR (%)	ARA (%)	F
<i>Ophiocamax hystrix</i> Lyman, 1878 (O)	193	1,08	73,22	3
<i>Zoroaster fulgens</i> Thomson, 1873 (A)	193	0,98	74,20	20
<i>Ophiomusium acuferum</i> Lyman, 1875 (O)	176	0,87	75,07	15

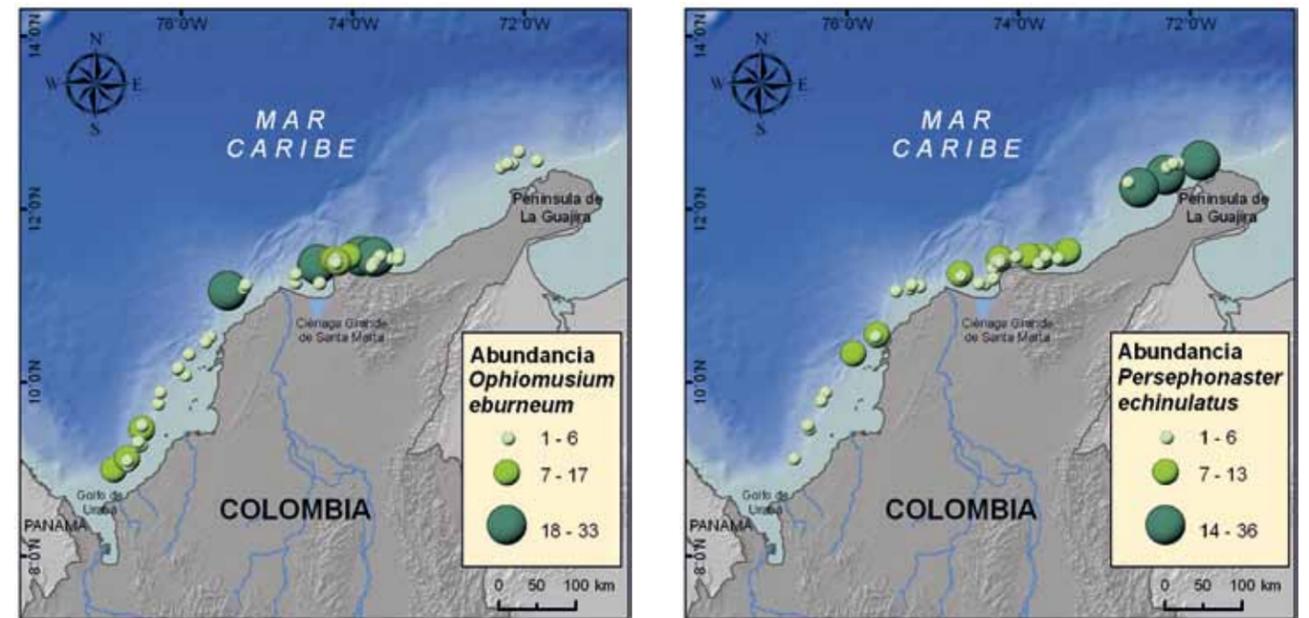


Figura 4. Distribución espacial y abundancias de *Ophiomusium eburneum* y *Persephonaster echinulatus* a lo largo del Caribe colombiano.

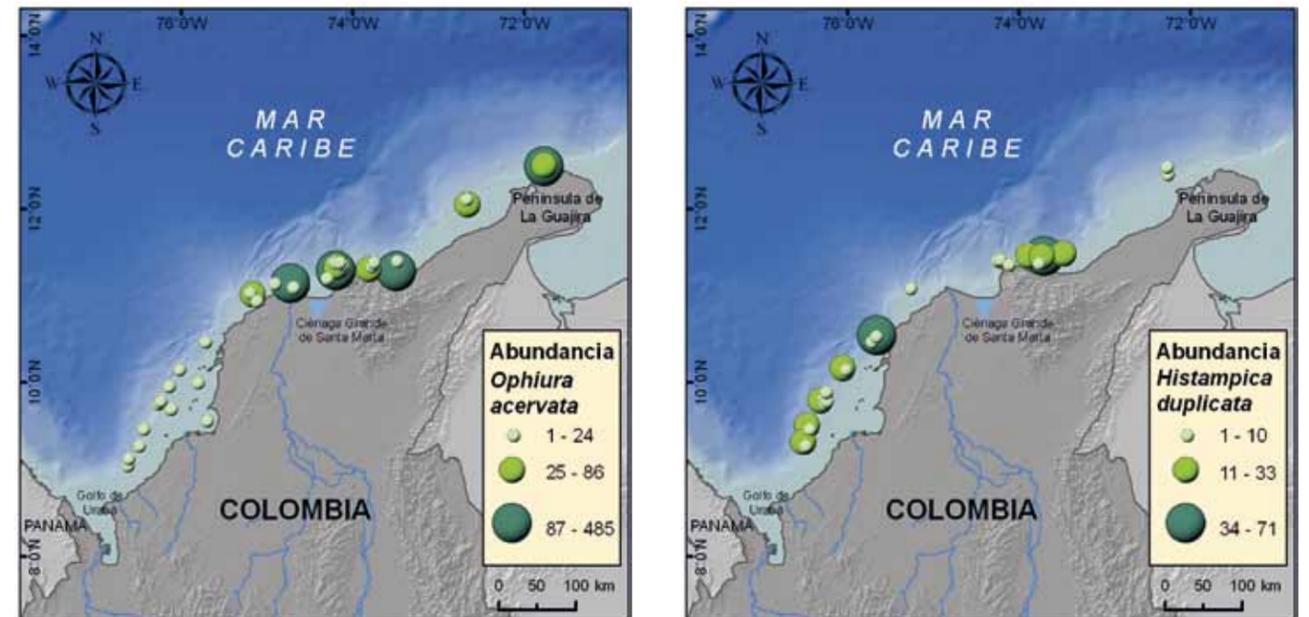


Figura 5. Distribución espacial y abundancias de *Ophiura acervata* e *Histampica duplicata* a lo largo del Caribe colombiano.

## ANÁLISIS DE CLASIFICACIÓN Y ORDENACIÓN

Para detectar ensamblajes de equinodermos, se realizaron análisis de clasificación y ordenación de estaciones con base en la presencia y abundancia de individuos recolectados en 20 minutos de arrastre en las estaciones de los proyectos Macrofauna I, Macrofauna II y ANH I.

Se aplicó un análisis de clasificación de estaciones empleando el coeficiente de similitud de Bray-Curtis, con base en los datos transformados con raíz cuarta y excluyendo todas las especies con abundancias menores al 1%. Se construyó un dendrograma por medio de ligamiento promedio no ponderado; así mismo se realizó una ordenación, escalamiento Multidimensional no métrico (nMDS), empleando el software PRIMER versión 6.1.7 (Clark y Warwick 2001). Para cada uno de los grupos de estaciones formados a partir de los análisis de clasificación y ordenación, se determinaron asociaciones de especies con base en un análisis inverso modificado de Kaandorp (Kaandorp 1986). Esta técnica parte del dendrograma obtenido en la clasificación, con base en el cual se reordenó la matriz de individuos por especie en 20 minutos de arrastre. Se calculó para cada especie en cada grupo de estaciones la abundancia promedio, el error estándar, la frecuencia y la concentración de la abundancia con respecto a la abundancia total de la especie. Cada conglomerado fue nombrado de acuerdo a la profundidad en que se encontraban la mayoría de las estaciones de cada grupo y se consideraron como especies características aquellas que concentraron más del 70% de su abundancia y tuvieron una frecuencia mayor al 70% dentro del conglomerado. Para cada ensamblaje se señalaron las especies que concentraron el 100%, 90% y 70% de abundancia al interior del grupo.

### Patrón de asociación de estaciones y especies características

En el análisis de clasificación de estaciones se identificó la formación de cuatro grupos (Figura 6): Plataforma Continental Somera (PCS20-70), Plataforma Continental Profunda (PCP150), Talud Continental Somero (TCS300) y Talud Continental Profundo (TCP500-940). Estos grupos fueron definidos por sus especies características (Tabla 2), y fueron llamados conglomerados. En adición a estos, hay dos estaciones ubicadas en la ecorregión MAG a 20 y 150 m, localizadas al frente de la boca del río Magdalena (MAG 20-150) y siete al frente de otras ecorregiones que no fueron incorporadas a ninguno de los conglomerados debido a su bajo número de especies.

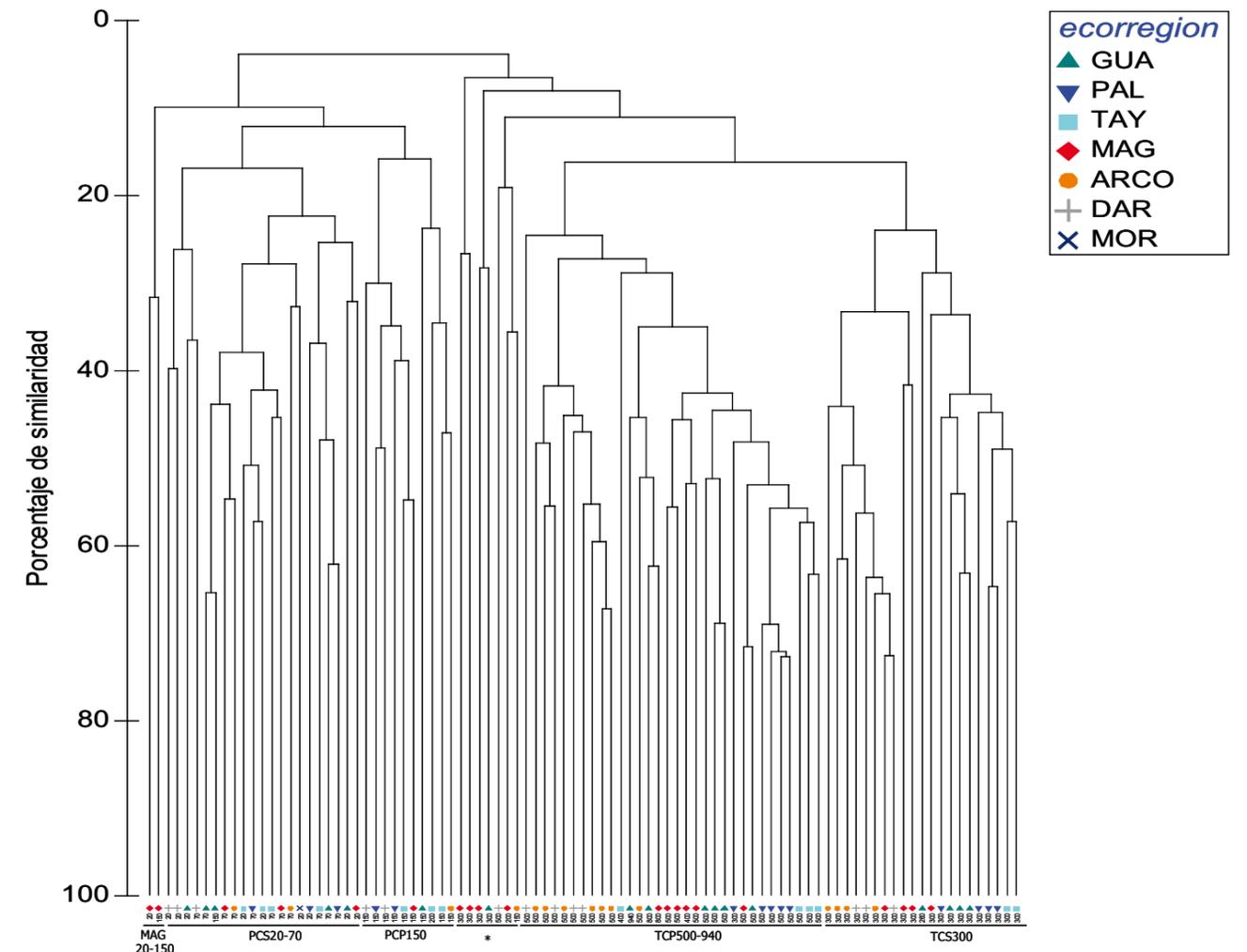
En el análisis de ordenación (nMDS) (Figura 7) se observa un gradiente relacionado con la profundidad desde las estaciones más profundas (300 a 940 m) hacia las más someras (20 a 70 m). Igualmente, se puede distinguir un mayor acercamiento entre las estaciones ubicadas en el intervalo batimétrico 500 a 940 m.

#### Conglomerado PCS20-70

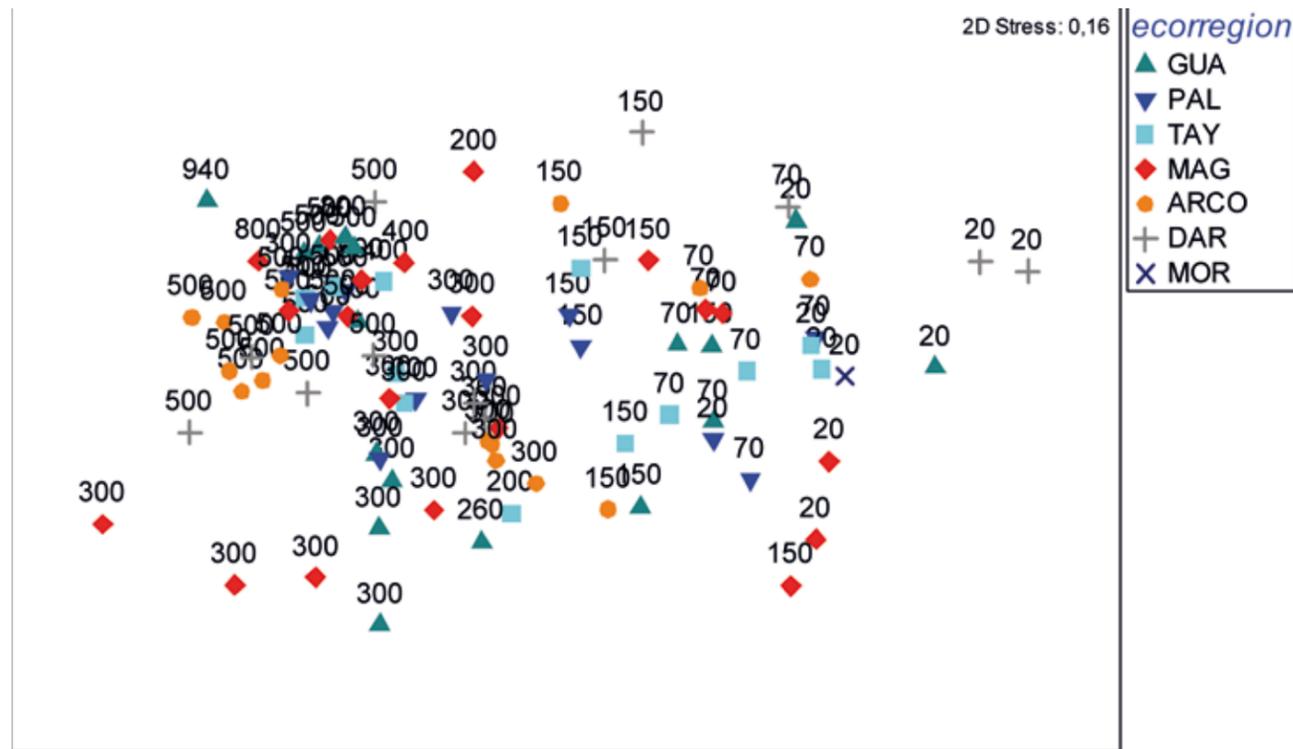
Compuesto por las estaciones presentes en la plataforma continental somera entre 20 y 70 m de todas las ecorregiones y una estación a 150 m de la ecorregión GUA; estuvo caracterizado por la estrella *Astropecten antillensis* y el ofiuro *Ophiura acervata*. Este conglomerado presentó 32 especies que solo estuvieron presentes en el.

#### Conglomerado PCP150

Compuesto por la mayoría de las estaciones de la plataforma continental profunda (150 m), en todas las ecorregiones tenidas en cuenta dentro de éste análisis. Cabe destacar la presencia de un grupo que incluye las estaciones INV 019 (C7-C8: 200 m) e INV 073 (C155-C156:



**Figura 6.** Análisis de clasificación (CLUSTER) de las 93 estaciones utilizando el índice de similitud de Bray Curtis a partir de la matriz de datos transformados con raíz cuarta y excluyendo las especies con una abundancia menor al 1% en todas las estaciones. GUA: Guajira, PAL: Palomino, TAY: Tayrona, MAG: Magdalena, ARCO: Archipiélagos Coralinos, DAR: Darién, MOR: Golfo de Morrosquillo. PCS20-70: Plataforma Continental Somera 20-70 m; PCP150: Plataforma Continental Profunda 150 m; TCP500-940: Talud Continental Profundo 500-940 m; TCS300: Talud Continental Somero 300 m. MAG 20-150: estaciones aisladas del Magdalena 20 y 150 metros de profundidad. \*: Estaciones aisladas.



**Figura 7.** Análisis de ordenación de 93 estaciones utilizando el índice de similaridad de Bray Curtis a partir de la matriz de datos transformados con raíz cuarta y excluyendo las especies con una abundancia menor al 1% en todas las estaciones. GUA: Guajira, PAL: Palomino, TAY: Tayrona, MAG: Magdalena, ARCO: Archipiélagos Coralinos, DAR: Darién, MOR: Golfo de Morrosquillo. Se puede observar un gradiente relacionado con la profundidad, desde las estaciones más profundas (lado izquierdo) hacia las más someras (lado derecho).

150 m), las cuales se caracterizan por tener fauna asociada a bancos coralinos profundos (Reyes *et al.* 2005). Se presentaron 27 especies que ocurren exclusivamente en el, con una frecuencia más baja del 30%, y con una especie característica, el erizo *Clypeaster euclastus*.

### Conglomerado TCS300

Estaciones ubicadas a 300 m a lo largo del Caribe colombiano. Dentro de este grupo, se destaca el agrupamiento de las estaciones con respecto a la desembocadura del río Magdalena. Hacia el lado izquierdo del ensamblaje están todas las estaciones que se encuentran al lado suroccidental del río, y hacia el lado derecho las que encuentran al lado nororiental. 14 especies fueron exclusivas de este conglomerado, con una frecuencia

mas baja de 52%. Estuvo caracterizado por el crinoideo *Caryometra atlantidis* y el ofiuro *Amphiura rathbuni*.

### Conglomerado TCP500-940

Están involucradas la mayoría de las estaciones mas profundas del área de estudio, desde los 500 a los 940 m de profundidad. Todas las estaciones de la ecorregión MAG se encuentran al lado nororiental de la desembocadura del río. Éste conglomerado presentó 27 especies exclusivas con una frecuencia mas baja a 53% y tres especies características: *Ophiernus adpersus adpersus*, *Cheiraster (Cheiraster) planus* y *Phormosoma placenta*.

## DISTRIBUCIÓN BATIMÉTRICA DE LAS FAMILIAS ENTRE LOS CONGLOMERADOS DEFINIDOS DENTRO DEL ANÁLISIS INVERSO MODIFICADO DE KAANDORP

Según el análisis, las familias se ubicaron en cinco categorías:

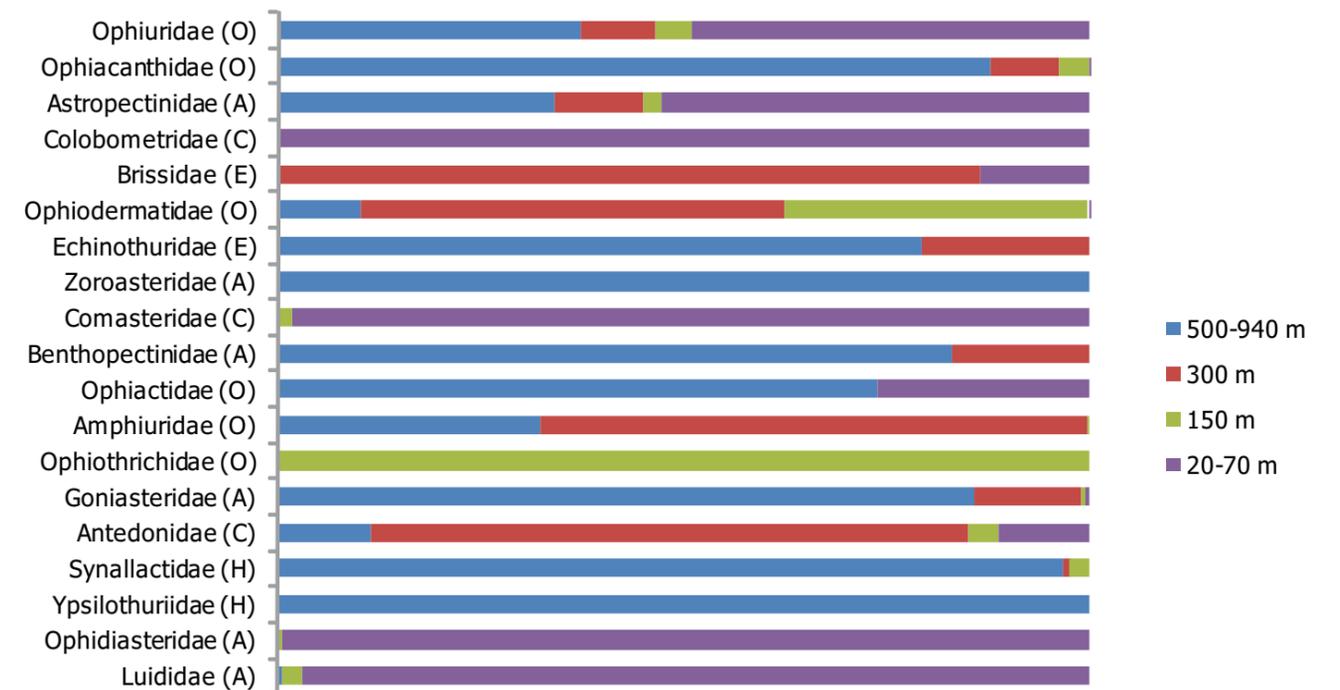
1. Familias que solo se encontraron en los conglomerados de la plataforma (ej. Colobometridae, Clypeasteridae, Gorgonocephalidae).
2. Familias que se encontraron tanto en la plataforma

como en el talud, pero fueron más abundantes en el talud (ej. Goniasteridae, Synallactidae, Ophiacanthidae).

3. Familias que se encuentran tanto en la plataforma como en el talud, pero fueron más abundantes en la plataforma (ej. Luididae).

4. Familias que solo se encontraron en las zonas del talud (ej. Zoroasteridae, Benthoplectinidae, Echinothuridae, Ypsilothuridae, Gonioplectinidae).

5. Familias que se encuentran tanto en la plataforma como en el talud, pero están representadas en cada área por especies diferentes (ej. Ophiiothrichidae, Ophiodermatidae) (Figura 8).



**Figura 8.** Porcentaje del número de individuos de las familias más abundantes encontradas en los cuatro conglomerados definidos TCP500-940, TCS300, PCP150 y PCS20-70. C, Crinoidea; A, Asteroidea; O, Ophiuroidea; E, Echinoidea; H, Holothuroidea.

**Tabla 2.** Análisis de clasificación inverso. Los valores encerrados en los recuadros corresponden a cada uno de los grupos o conjunto de grupos definidos en el dendograma (Figura 6). Para cada especie se presenta la abundancia promedio más o menos el error estándar y entre paréntesis la frecuencia en cada uno de los grupos. Las especies con valores señalados con dos asteriscos (\*\*) se consideraron especies exclusivas cuya abundancia en el grupo representa el 100% de la abundancia total de la especie. Las especies con valores señalados con un asterisco (\*) presentan la abundancia en el grupo mayor al 90% del total y las que presentan valores subrayados la tienen mayor al 70% del total; de éstas especies, las que están señaladas con un mas (+) se consideran especies características porque además presentan una frecuencia mayor al 70%.

ESPECIES	GRUPOS					
	TCS300	TCP500-940	PCS20-70	PCP150	MAG20-150	AISLADAS
<i>Cheiraster (Christopheraster) blakei</i> A.M.Clark, 1981		0,66+/-0,47(16)				0,43+/-0,43(14)
<i>Amphimilna olivacea</i> (Lyman, 1869)	0,24+/-0,24(5)	0,16+/-0,08(13)	1,24+/-0,70(24)	0,20+/-0,13(20)		2,00+/-1,84(29)
<i>Amphiophiura oedignatha</i> H.L. Clark, 1915	0,05+/-0,05(5)	3,28+/-1,93(16)				2,00+/-2,00(14)
<i>Amphiura</i> sp.	0,29+/-0,24(10)			0,10+/-0,10(10)		0,14+/-0,14(14)
<i>Democrinus conifer</i> (A.H. Clark, 1909)		2,19+/-1,35(13)		0,20+/-0,13(20)		
<i>Thyone tanyspeira</i> Pawson, 1976			0,14+/-0,10(10)	<u>2,30+/-1,24(50)</u>		0,86+/-0,86(14)
<i>Ophiomusium eburneum</i> Lyman, 1869	3,33+/-1,01(67)	5,00+/-1,45(72)		1,70+/-0,76(60)		2,71+/-1,77(57)
<i>Molpadia oolitica</i> (Pourtalès, 1851)	0,48+/-0,43(10)	0,25+/-0,14(13)	0,05+/-0,05(5)			0,14+/-0,14(14)
<i>Stylocydaris lineata</i> Mortensen, 1910	1,57+/-0,65(43)	0,03+/-0,03(3)		2,40+/-1,42(40)		0,14+/-0,14(14)
<i>Leodia sexiesperforata</i> (Leske, 1778)			3,62+/-3,62(5)		7,00+/-7,00(50)	
<i>Amphipholizona delicata</i> H.L. Clark, 1915	0,24+/-0,17(10)		0,19+/-0,11(14)	0,70+/-0,42(30)	0,50+/-0,50(50)	
<i>Ophiomitrella laevipellis</i> (Lyman, 1883)	0,05+/-0,05(5)	0,13+/-0,10(6)		0,30+/-0,30(10)		
<i>Luidia barbadensis</i> Perrier, 1881	0,19+/-0,13(10)			0,20+/-0,13(20)		
<i>Paleopneustes cristatus</i> Agassiz, 1873	0,095+/-0,065(10)			0,10+/-0,10(10)		
<i>Holothuria (Vaneyothuria) lentiginosa enodis</i> Miller y Pawson, 1978	0,095+/-0,065(10)			0,10+/-0,10(10)		
<i>Anthenoides piercei</i> Perrier, 1881	1,81+/-0,54(52)	0,13+/-0,098(6)	0,05+/-0,45(40)	1,00+/-0,45(40)		
<i>Molpadia parva</i> (Clark, 1908)	0,43+/-0,20(29)	0,81+/-0,31(34)	0,19+/-0,13(10)	0,10+/-0,10(10)		
	<b>TCS300</b>	<b>TCP500-940</b>				
<i>Ypsilothuria talismanni</i> E. Perrier, 1885	2,48+/-0,86(57)	4,41+/-1,32(56)				
<i>Cheiraster (Cheiraster) sepius</i> (Verrill, 1885)	0,045+/-0,045(5)	0,03+/-0,03(3)				
<i>Histampica duplicata</i> (Lyman, 1875)	3,81+/-2,03(57)	6,75+/-2,55(41)	0,05+/-0,045(5)	0,5+/-0,34(20)		
<i>Persephonaster echinulatus</i> H.L. Clark, 1941	5,38+/-2,02(57)	3,69+/-0,71(75)	0,20+/-0,20(10)			0,43+/-0,30(29)
<i>Bathyploetes natans</i> (M. Sars, 1868) Östergren, 1896	0,33+/-0,14(24)	0,75+/-0,39(19)		0,2+/-0,2(10)		

**Tabla 2.** Continuación. Análisis de clasificación inverso.

ESPECIES	GRUPOS					
	TCS300	TCP500-940	PCS20-70	PCP150	MAG20-150	AISLADAS
Ophiidermatidae sp.	16,52+/-16,52(5)**					
<i>Calveriosoma fenestratum</i> (Wyville Thomson, 1872)	6,10+/-2,70(48)**					
<i>Aspidodiadema jacobyi</i> A. Agassiz, 1883	3,33+/-1,32(38)**					
<i>Ophiostriatus atlanticus</i> (Mortensen, 1933)	3,19+/-2,15(19)**					
<i>Archaeopneustes hystrix</i> (Agassiz, 1880)	1,62+/-1,62(5)**					
<i>Molpadia cubana</i> Deichmann, 1940	0,81+/-0,20(52)**					
<i>Ophioprium</i> cf. <i>cervicorne</i>	0,24+/-0,12(19)**					
<i>Ophiambix devaneyi</i> Paterson, 1985	0,10+/-0,10(5)**					
<i>Meseres occultatus</i> (von Marenzeller, 1893)	0,10+/-0,10(5)**					
<i>Amphimilna mirabilis</i> (H.L. Clark, 1941)	0,10+/-0,07(10)**					
<i>Hypselaster limicolus</i> (A. Agassiz, 1878)	0,10+/-0,07(10)**					
<i>Holothuria</i> sp.	0,10+/-0,07(10)**					
<i>Tethyaster vestitus vestitus</i> (Say, 1825)	0,05+/-0,05(5)**					
<i>Amphiura</i> sp2	0,05+/-0,05(5)**					
<i>Brissopsis atlantica</i> Mortensen, 1907	31,33+/-30,0(43)*	0,13+/-0,09(6)	0,38+/-0,24(19)	0,20+/-0,20(10)		
<b><i>Caryometra atlantis</i> A.H. Clark, 1940+</b>	10,90+/-6,75(76)*	0,13+/-0,06(13)				0,29+/-0,18(29)
<i>Ophiomyxa stimpsonii</i> (Lyman, 1875)	0,81+/-0,72(10)*	0,03+/-0,03(3)				
<i>Amphiura</i> sp1	0,43+/-0,18(29)*	0,03+/-0,03(3)				
<i>Coccometra guttata</i> A.H. Clark, 1918	0,38+/-0,16(24)*	0,03+/-0,03(3)				
<i>Ophiomusium validum</i> Ljungman, 1872	8,71+/-2,61(52)*	0,78+/-0,65(16)		0,1+/-0,1(10)		
<i>Ophiocamax hystrix</i> Lyman, 1878	<u>7,48+/-7,48(5)</u>	1,12+/-0,93(6)				
<i>Prionaster elegans</i> Verrill, 1899	<u>1,19+/-0,34(57)</u>	0,19+/-0,13(9)				
<i>Cheiraster (Barbadosaster) echinulatus</i> (Perrier, 1875)	<u>3,33+/-1,75(33)</u>	0,66+/-0,45(16)				
<i>Ophiura tenera</i> (Lyman, 1883)	<u>1,86+/-0,67(33)</u>	0,41+/-0,24(9)				
<b><i>Amphiura rathbuni</i> Koehler, 1914+</b>	<u>7,81+/-2,16(76)</u>	1,66+/-1,19(25)		0,10+/-0,10(10)		
<i>Astropecten alligator</i> Perrier, 1881	<u>9,10+/-2,68(57)</u>	1,06+/-0,48(25)	0,29+/-0,16(19)	0,80+/-0,70(20)		
<i>Amphioplus tumidus</i> (Lyman, 1878)	<u>2,76+/-0,93(52)</u>	0,09+/-0,070(6)		0,70+/-0,50(30)		

**Tabla 2.** Continuación. Análisis de clasificación inverso.

ESPECIES	GRUPOS					
	TCS300	TCP500-940	PCS20-70	PCP150	MAG20-150	AISLADAS
<i>Doraster constellatus</i> Downey, 1970		9,8+/-3,49(53)**				
<i>Mesothuria lactea</i> (Théel, 1886)		4,3+/-3,68(28)**				
<i>Ophiacantha mesembria</i> H.L. Clark, 1915		3,8+/-2,10(19)**				
<i>Ophiactis</i> sp.		2,16+/-1,70(13)**				
<i>Mesothuria rugosa</i> Hérouard, 1912		0,8+/-0,54(16)**				
<i>Plinthaster dentatus</i> (Perrier, 1884)		0,8+/-0,22(38)**				
<i>Molpadia musculus</i> Risso, 1826		0,78+/-0,22(38)**				
<i>Cheiraster (Christopheraster) mirabilis</i> (Perrier, 1881)		0,72+/-0,37(16)**				
<i>Homolampas fragilis</i> (A. Agassiz, 1869)		0,69+/-0,56(13)**				
<i>Atelecrinus balanoides</i> P.H. Carpenter, 1881		0,53+/-0,27(13)**				
<i>Ophiura</i> sp.		0,50+/-0,22(25)**				
<i>Echinocyamus grandiporus</i> Mortensen, 1907		0,28+/-0,16(16)**				
<i>Amphigymnas bahamensis</i> (Deichman, 1930)		0,25+/-0,25(3)**				
<i>Ophiotrema gracilis</i> Koehler, 1914		0,19+/-0,16(6)**				
<i>Ophiochiton ternispinus</i> Lyman, 1883		0,16+/-0,09(9)**				
<i>Pteraster militarioides militarioides</i> H.L. Clark, 1941		0,10+/-0,05(9)**				
<i>Ophiotreta sertata</i> (Lyman, 1869)		0,03+/-0,03(3)**				
<i>Luidia sarsi elegans</i> Perrier, 1875		0,03+/-0,03(3)**				
<i>Pteraster personatus</i> Sladen, 1891		0,03+/-0,03(3)**				
<i>Amphipholis</i> cf. <i>squamata</i>		0,03+/-0,03(3)**				
<i>Amphipholis</i> sp.		0,03+/-0,03(3)**				
<i>Linopneustes longispinus</i> (A. Agassiz, 1878)		0,03+/-0,03(3)**				
<i>Mesothuria</i> sp.		0,03+/-0,03(3)**				
<i>Mesothuria gargantua</i> Deichmann, 1930		0,03+/-0,03(3)**				
<i>Eynypniastes eximia</i> Théel, 1882		0,03+/-0,03(3)**				
<i>Molpadia barbouri</i> Deichmann, 1940		0,03+/-0,03(3)**				
<i>Caudina</i> n. sp.		0,03+/-0,03(3)**				
<i>Ophiernus adpersus adpersus</i> Lyman, 1883+	0,10+/-0,10(5)	31,53+/-7,31(84)*				
<i>Cheiraster (Cheiraster) planus</i> Verrill, 1915+	0,14+/-0,14(5)	12,34+/-3,76(75)*				
<i>Cnemidaster sigsbeeii</i> (Perrier, 1894)	0,05+/-0,05(5)	3,97+/-1,68(31)*				

**Tabla 2.** Continuación. Análisis de clasificación inverso.

ESPECIES	GRUPOS					
	TCS300	TCP500-940	PCS20-70	PCP150	MAG20-150	AISLADAS
<i>Pseudarchaster gracilis gracilis</i> (Sladen, 1889)	0,05+/-0,05(5)	3,06+/-1,36(44)*				
<i>Bathypectinura heros</i> (Lyman, 1879)	0,10+/-0,10(5)	2,03+/-0,41(56)*				
<i>Amphiophiura metabula</i> H.L. Clark, 1915	0,38+/-0,25(14)	6,00+/-1,73(41)*				
<i>Nymphaster arenatus</i> (Perrier, 1881)	0,19+/-0,11(14)	6,75+/-1,61(69)*		0,30+/-0,21(20)		
<i>Ophiacantha echinulata</i> Lyman, 1878	0,05+/-0,05(5)	2,10+/-0,62(34)*				0,14+/-0,14(14)
<i>Psilaster cassiope</i> Sladen, 1889		1,03+/-0,34(34)*		0,10+/-0,10(10)		
<i>Ophiura falcifera</i> (Lyman, 1869)	0,19+0,11(14)	2,22+/-0,70(50)*	0,05+/-0,05(5)			
<i>Zoroaster fulgens</i> Thomson, 1873	0,43+/-0,33(14)	5,19+/-1,52(50)*				0,14+/-0,14(14)
<i>Amphiura otteri</i> Ljungman, 1872		<u>0,78+/-0,53(13)</u>		0,10+/-0,10(10)		
<i>Ophiomastus secundus</i> Lyman, 1878	0,095+/-0,095(5)	<u>0,72+/-0,41(13)</u>				
<i>Goniopecten demonstrans</i> Perrier, 1881	0,33+/-0,24(14)	<u>2,34+/-1,12(28)</u>				
<i>Astropecten americanus</i> Verrill, 1880	2,71+/-1,76(19)	<u>20,47+/-9,10(56)</u>		0,10+/-0,10(10)		0,14+/-0,14(14)
<b>Phormosoma placenta</b> Wyville Thomson, 1874+	0,90+/-0,61(19)	<u>14,50+/-5,14(72)</u>				1,42+/-1,43(14)
<i>Trichometra cubensis</i> (Pourtalès, 1869)	0,14+/-0,10(10)	<u>1,06+/-0,50(31)</u>				0,14+/-0,14(14)
<i>Ophiocamax fasciculata</i> Lyman, 1883	13,2+/-9,36(24)	<u>49,34+/-18,00(50)</u>				0,14+/-0,14(14)
<i>Ophiomedea</i> cf. sp2	0,05+/-0,05(5)	<u>0,91+/-0,36(28)</u>		0,30+/-0,30(10)		
			<b>PCS20-70</b>	<b>PCP150</b>		
<i>Comissia venustus</i> (A.H. Clark, 1909)			1,71+/-1,06(24)	3,00+/-3,00(10)		
<i>Stylocydaris affinis</i> (Philippi, 1845)			1,52+/-1,34(10)	1,60+/-0,92(40)		
<i>Agassizia excentrica</i> A. Agassiz, 1869			1,48+/-1,28(19)	0,80+/-0,70(20)		
<i>Amphipholis granulata</i> (Lütken & Mortensen, 1899)			0,81+/-0,71(14)	1,10+/-0,64(30)		
<i>Genocidaris maculata</i> A. Agassiz, 1869			0,62+/-0,60(10)	1,20+/-0,76(30)		
<i>Davidaster discoideus</i> (Carpenter, 1888)			0,19+/-0,11(14)	0,20+/-0,20(10)		
<i>Ophiophragmus riisei</i> (Lütken in: Lyman 1860)			0,01+/-0,07(10)	0,10+/-0,10(10)		
<i>Holothuria (Cystipus) occidentalis</i> Ludwig, 1875	0,57+/-0,37(14)		0,39+/-0,19(19)	1,70+/-0,42(70)		
<i>Plutonaster agassizi agassizi</i> Verrill, 1880	0,48+/-0,48(5)		0,10+/-0,10(5)	1,10+/-0,89(30)		
			<b>PCS20-70</b>			
<i>Ophiactis savignyi</i> (Müller & Troschel, 1842)			4,81+/-2,59(38)**			
<i>Luidia clathrata</i> (Say, 1825)			4,10+/-2,45(29)**			
<i>Luidia heterozona barimae</i> John & Clark, 1954			3,10+/-1,79(29)**			

Tabla 2. Continuación. Análisis de clasificación inverso.

ESPECIES	GRUPOS					
	TCS300	TCP500-940	PCS20-70	PCP150	MAG20-150	AISSLADAS
<i>Ophiactis algicola</i> H.L. Clark, 1933			1,43+/-0,70(33)**			
<i>Eucidaris tribuloides</i> (Lamarck, 1816)			1,24+/-0,75(24)**			
<i>Ophiothrix (Ophiothrix) orstedii</i> Lütken, 1856			0,71+/-0,62(14)**			
<i>Nemaster grandis</i> A.H. Clark, 1909			0,52+/-0,40(14)**			
<i>Ophionereis dolabriformis</i> John & A.M. Clark, 1954			0,52+/-0,30(19)**			
<i>Clypeaster chesheri</i> Serafy, 1970			0,38+/-0,33(10)**			
<i>Echinaster (Othilia) guyanensis</i> A.M. Clark, 1987			0,38+/-0,23(14)**			
<i>Ophiopsila hartmeyeri</i> Koehler, 1913			0,33+/-0,16(24)**			
<i>Luidia senegalensis</i> (Lamarck, 1816)			0,29+/-0,20(14)**			
<i>Ophioplepis elegans</i> Lütken, 1859			0,24+/-0,24(5)**			
<i>Leptopentacta deichmannae</i> Domantay, 1953			0,24+/-0,17(10)**			
<i>Centrostephanus longispinus</i> (Philippi, 1845)			0,14+/-0,14(5)**			
<i>Ophioplepis impressa</i> Lütken, 1859			0,10+/-0,10(5)**			
<i>Mediaster</i> sp.			0,10+/-0,10(10)**			
<i>Ophiacantha</i> sp 1.			0,10+/-0,10(10)**			
<i>Ophiophragmus</i> sp.			0,10+/-0,10(10)**			
<i>Luidia alternata alternata</i> (Say, 1825)			0,05+/-0,05(5)**			
<i>Astropecten marginatus</i> Gray, 1840			0,05+/-0,05(5)**			
<i>Tethyaster grandis</i> (Verrill, 1899)			0,05+/-0,05(5)**			
<i>Oreaster reticulatus</i> (Linnaeus, 1758)			0,05+/-0,05(5)**			
<i>Astrophyton muricatum</i> (Lamarck, 1816)			0,05+/-0,05(5)**			
<i>Ophiopsila fulva</i> Lyman, 1878			0,05+/-0,05(5)**			
<i>Ophioderma cinerea</i> Müller & Troschel, 1842			0,05+/-0,05(5)**			
<i>Amphiodia planispina</i> (v. Martens, 1867)			0,05+/-0,05(5)**			
<i>Amphioplus</i> sp 1.			0,05+/-0,05(5)**			
<i>Clypeaster ravenelii</i> (A. Agassiz, 1869)			0,05+/-0,05(5)**			
<i>Encope michelini</i> L. Agassiz, 1841			0,05+/-0,05(5)**			
<i>Moira atropos</i> (Lamarck, 1816)			0,05+/-0,05(5)**			
<i>Isostichopus badionotus</i> (Selenka, 1867)			0,05+/-0,05(5)**			
<b><i>Astropecten antillensis</i> Lütken, 1859+</b>			55+/-28,00(76)*	0,20+/-0,13(20)		
<i>Brissopsis elongata</i> Mortensen, 1907			5,00+/-3,10(62)*	0,10+/-0,10(10)		

Tabla 2. Continuación. Análisis de clasificación inverso.

ESPECIES	GRUPOS					
	TCS300	TCP500-940	PCS20-70	PCP150	MAG20-150	AISSLADAS
<i>Analcidometra armata</i> (Pourtalès, 1869)			49,00+/-45,00(14)*	1,50+/-1,19(30)		
<i>Hypalometra defecta</i> (Carpenter, 1888)		0,06+/-0,06(3)	1,67+/-1,38(24)*			
<i>Ophiothrix (Ophiothrix) angulata</i> Say, 1825			7,29+/-4,16(24)*	0,30+/-0,21(20)		
<b><i>Ophiura acervata</i> (Lyman, 1869)+</b>	1,48+/-0,56(48)	0,03+/-0,03(3)	80,30+/-30,17(76)*	2,20+/-0,67(70)	1,50+/-0,5(100)	
<i>Ophiostigma isocanthum</i> (Say, 1825)			2,81+/-2,01(19)*	0,20+/-0,13(20)		
<i>Comactinia meridionalis</i> (L. Agassiz, 1865)	0,10+/-0,10(5)		25,50+/-13,29(52)	3,50+/-2,14(40)		0,43+/-0,43(14)
				<b>PCP150</b>		
<i>Ophiothyreus goesi</i> Ljungman, 1872				16,60+/-15,31(20)**		
<i>Ophiomyces frutescens</i> Lyman, 1869				4,60+/-4,60(10)**		
<i>Palaeotropus josephinae</i> Lovén, 18??				1,90+/-1,90(10)**		
<i>Paleopneustes tholoformis</i> Chesher, 1968				1,50+/-1,50(10)**		
<i>Ophioplax ljunmani</i> Lyman, 1875				1,10+/-0,67(30)**		
<i>Stylometra spinifera</i> (Carpenter, 1881)				1,00+/-1,00(10)**		
<i>Astroschema oligactes</i> (Pallas, 1788)				0,80+/-0,70(20)**		
<i>Neocomatella pulchella</i> (Pourtalès, 1878)				0,60+/-0,60(10)**		
<i>Ophiopristis hirsuta</i> (Lyman, 1875)				0,60+/-0,43(20)**		
<i>Davidaster rubiginosus</i> (Pourtalès, 1869)				0,50+/-0,50(10)**		
<i>Coronaster briareus</i> (Verrill, 1882)				0,50+/-0,50(10)**		
<i>Endoxocrinus (Endoxocrinus) parrae parrae</i> (Gervais in Guérin, 1835)				0,40+/-0,31(20)**		
<i>Ophiomusium testudo</i> Lyman, 1875				0,40+/-0,31(20)**		
<i>Coccometra nigrolineata</i> A.H. Clark, 1908				0,20+/-0,20(10)**		
<i>Marginaster pectinatus</i> Perrier, 1881				0,20+/-0,20(10)**		
<i>Asteroporpa (Asteroporpa) annulata</i> Örsted & Lütken in: Lütken, 1856				0,20+/-0,20(10)**		
<i>Trigonocidaris albida</i> A. Agassiz, 1???				0,20+/-0,20(10)**		
<i>Crinometra brevipinna</i> (Pourtalès, 1867)				0,10+/-0,10(10)**		
<i>Rosaster alexandri</i> (Perrier, 1881)				0,10+/-0,10(10)**		
<i>Pawsonaster parvus</i> (Perrier, 1881)				0,10+/-0,10(10)**		
<i>Tamaria halperni</i> Downey, 1971				0,10+/-0,10(10)**		
<i>Pteraster acicula</i> (Downey, 1970)				0,10+/-0,10(10)**		

**Tabla 2.** Continuación. Análisis de clasificación inverso.

ESPECIES	GRUPOS					
	TCS300	TCP500-940	PCS20-70	PCP150	MAG20-150	AIKLADAS
<i>Stephanasterias albula</i> (Stimpson, 1853)				0,10+/-0,10(10)**		
<i>Asteroschema cf. laeve</i>				0,10+/-0,10(10)**		
<i>Ophioderma appressa</i> (Say, 1825)				0,10+/-0,10(10)**		
<i>Ophiotreta valenciennesi rufescens</i> (Koehler, 1896)				0,10+/-0,10(10)**		
<i>Amphioplus</i> sp.				0,10+/-0,10(10)**		
<i>Ophiothrix (Acanthophiothrix) suensoni</i> Lütken, 1856	0,05+/-0,05(5)		0,14+/-0,10(14)	43,80+/-36,50(30)*		
<i>Ophiopaepale goesiana</i> Ljungman, 1872			0,10+/-0,10(5)	7,80+/-7,04(30)*		
<i>Ophiomitra valida</i> Lyman, 1869		0,03+/-0,03(3)		1,90+/-1,90(10)*		
<i>Astropecten nitidus</i> Verrill, 1915	0,14+/-0,14(5)			4,80+/-2,11(60)*		
<i>Ophiacantha</i> sp.	0,05+/-0,05(5)			1,50+/-1,50(10)*		
<i>Astrocnida isidis</i> (Duchassaing, 1850)			0,10+/-0,10(5)	1,30+/-1,19(20)*		
<i>Coelopleurus floridanus</i> A. Agassiz, 1872	0,05+/-0,05(5)		0,10+/-0,10(5)	2,10+/-1,37(40)*		
<i>Ophiochondrus convolutus</i> Lyman, 1869		0,10+/-0,10(3)		1,20+/-1,20(10)*		
<i>Clypeaster lamprus</i> H.L. Clark, 1914			0,10+/-0,10(5)	1,20+/-1,10(20)*		
<i>Meseres</i> sp.			0,05+/-0,05(5)	<u>0,40+/-0,31(20)</u>		
<i>Clypeaster euclastus</i> H.L. Clark, 1941 +			0,52+/-0,34(19)	<u>3,30+/-1,23(70)</u>		
<i>Luidia ludwigi scotti</i> Bell, 1917			0,05+/-0,05(5)	<u>0,30+/-0,30(10)</u>		
<i>Ophiomusium acuferum</i> Lyman, 1875	1,14+/-0,53(24)		0,14+/-0,10(14)	<u>12,40+/-5,42(60)</u>		
<i>Ophiomyxa tumida</i> Lyman, 1883	0,05+/-0,05(5)		0,05+/-0,05(5)	<u>0,30+/-0,30(10)</u>		
<i>Dipsacaster antillensis</i> Halpern, 1968	0,24+/-0,15(14)			<u>0,70+/-0,70(10)</u>	0,71+/-0,71(14)	
					<b>MAG20-150</b>	
<i>Microphiopholis atra</i> (Stimpson, 1854)			0,29+/-0,21(10)		<u>1,00+/-1,00(50)</u>	
						<b>AIKLADAS</b>
<i>Ophiosyzygus disacanthus</i> H.L. Clark, 1911			0,20+/-0,20(10)			<u>17,14+/-17,14(14)*</u>

## DISCUSIÓN

### Composición faunística

Los primeros registros de equinodermos evidencian un importante incremento en el conocimiento del phylum

en el Caribe colombiano (30%) tanto para aguas someras como profundas.

La clase Ophiuroidea fue la más destacada en cuanto al número de especies e individuos. Esto puede explicarse considerando que es el grupo más próspero entre

los equinodermos debido a su movilidad, la diversidad de hábitos alimentarios y su facilidad de moldear su cuerpo a espacios muy pequeños o de difícil acceso, lo que les permite habitar lugares inalcanzables para otros equinodermos.

En cuanto a las familias más abundantes y ricas, Ophiuridae, Astropectinidae y Ophiacanthidae estuvieron representadas por varias especies haciendo presencia tanto en aguas someras como profundas a lo largo del Caribe colombiano, mientras que otras familias abundantes, como Comasteridae estuvo representada únicamente por una especie, *Analcidometra armata*, colectada en aguas someras de la parte nororiental de la desembocadura del río Magdalena. Todas las especies abundantes, independientemente de su alta o baja frecuencia, alcanzaron el 60% de su abundancia en un número bajo de estaciones (una a ocho), lo que podría estar reflejando un patrón de distribución agregado (Tabla 1). Este comportamiento puede verse reflejado en las figuras 4 y 5, donde *Ophiomusium eburneum* por ejemplo, concentró su mayor abundancia frente a Cartagena, la Ciénaga Grande de Santa Marta y el departamento del Magdalena (frente a Santa Marta y el Parque Nacional Natural Tayrona), mientras que *Persephonaster echinulatus* fue significativamente más abundantes frente al departamento de la Guajira. Lo mismo sucedió con las especies *Ophiura acervata* e *Histampica duplicata*: la primera, estuvo más concentrada hacia el noreste de la desembocadura del río Magdalena y la segunda hacia el suroeste, exceptuando el área frente al departamento del Magdalena, donde se puede observar su alta concentración.

### Análisis de ordenación y clasificación

Los conglomerados formados en el análisis de clasificación muestran un patrón de agrupamiento por profundidad y región geográfica. Las agrupaciones están bien establecidas, se presenta un buen número de especies características y exclusivas, las clases y familias más abundantes y ricas son diferentes y entre las cuatro aso-

ciaciones son más las especies diferentes que las comunes, por lo que las variaciones entre ellas se dan tanto por la abundancia como por la riqueza.

Esta zonación por profundidad es una característica común en la distribución de los organismos bentónicos y ha sido registrada en diferentes trabajos de equinodermos y de comunidades bentónicas que los incluyen. Se han encontrado a nivel global y para áreas específicas zonas importantes de cambio en la composición de especies que se han ubicado aproximadamente entre 200 y 500 m. Un límite menos pronunciado entre 1000 y 1400 m y otro a 3000 m de profundidad (Sanders y Hessler 1969, Bayer *et al.* 1970, Guille 1980, Rowe *et al.* 1982, Hecker 1990, Shin y Koh 1993, Clark y Downey 1992). El esquema de zonación encontrado sobre la plataforma y el talud superior del Caribe colombiano, está en concordancia con estos patrones globales y en especial con algunos trabajos como el de Shin y Koh (1993). Estos autores encuentran una zona de transición, entre 100 y 300 m de profundidad para los ofiuros de la plataforma y el talud del este de Corea, definiendo la zona de la plataforma somera y la del talud superior como zonas diferentes. Sin embargo, se ha encontrado en otros trabajos que las zonas de cambio en la composición de especies pueden variar de acuerdo al taxa estudiado y a la localización geográfica, como ocurre con los resultados de Gage *et al.* (1985) que definió dos puntos de cambio faunal en los equinodermos del Atlántico nororiental, a los 1000 y 2000 m de profundidad. Haedrich y Maunder (1985) definieron un cambio abrupto en el número de especies de equinodermos a una profundidad de 1200 a 1400 m sobre el talud continental de Newfoundland Howell *et al.* (2002) encontraron límites en la composición faunística a los 700, 1100, 1700, 2500 y 2800 m para los asteroideos de Porcupine en el Atlántico Nororiental. En la mayoría de estos estudios mencionados se exploran intervalos de profundidad mucho más amplios en comparación con el intervalo de este trabajo, los cuales van de 0 a 4000 m, por lo que en algunos el intervalo 500-1000 m se considera parte de la zona de transición,

aunque en otros constituye una zona diferente. Esto indicaría que la definición del conglomerado TCP500-940 en el Caribe colombiano podría variar si se explora un intervalo de profundidad más amplio. Sin embargo, independientemente de la escala a la que se realizó este trabajo, los resultados en cuanto a la distribución de las especies y las familias permitirían confirmar que en las profundidades muestreadas se empieza a dar el primer cambio faunal en el Caribe colombiano.

Varios autores han encontrado que los límites faunísticos observados están relacionados con la estructura de las masas de agua, presencia de la termoclina o patrones de corrientes del área de estudio (Piepenburg *et al.* 1997, Howell *et al.* 2002, Rowe *et al.* 1982, Shin y Koh 1993).

La distribución espacial de los ensamblajes de equinodermos encontrados se relaciona con las tres masas de agua superiores del Caribe colombiano (ver capítulo de oceanografía en este volumen). La capa Superficial del Caribe, con una alta variabilidad en los valores de salinidad (Profundidad: 30 m; T: 28-29 °C; Salinidad: 32-36), la capa Subsuperficial Subtropical ubicada en la zona de transición térmica (Profundidad: 50-100 m; T: 24 °C; Salinidad: 37) y la capa de Agua Intermedia Antártica (profundidad: 300-800 m, T: 6,5°C; Salinidad: 34.7).

Howell *et al.* (2002), proponen que la variabilidad local en la velocidad de las corrientes puede tener un efecto en el transporte de sedimentos, suplemento alimentario y dispersión larval y puede influir en la zonación de los asteroideos. Los conglomerados de estaciones encontrados están relacionados con el sistema de corrientes marinas (descritas en el capítulo de oceanografía en este volumen) del Caribe colombiano. Según estos autores, dependiendo de la época del año la Contracorriente Panamá-Colombia se extiende desde el golfo de Darién hasta cercanías a la desembocadura del río Magdalena. En la época de lluvias, cuando se disminuye el efecto de los vientos Alisios, esta contracorriente se extiende hasta la Península de La Guajira. Su máxima velocidad

se presenta en las costas de Panamá, disminuyendo a lo largo de las costas de Colombia y Venezuela. La máxima velocidad la alcanza alrededor de los 100 m de profundidad en la cuenca colombiana, volviéndose más profunda a medida que se dirige hacia el este, presentando la máxima velocidad a los 200 m de profundidad. La profundidad aproximada de esta contracorriente podría estar definiendo las dos principales comunidades de la plataforma (PCS20-70 y PCP150) y el talud superior (TCS300 y TCP500-940), la primera influenciada por la contracorriente y la segunda podría estar influenciada en menor medida.

El estudio de los sistemas de corrientes y de la estratificación de las masas de agua es un importante tema en el estudio de las comunidades marinas. Cada corriente o masa de agua se caracteriza por sus condiciones fisicoquímicas y por las comunidades biológicas que están asociadas a ellas. El desplazamiento de las aguas oceánicas determinan el intercambio de nutrientes, características fisicoquímicas y organismos a través de los diferentes sistemas marinos. Muchos de estos sistemas de corrientes y masas de agua determinan la productividad y biodiversidad de los ecosistemas y de las condiciones climáticas regionales a lo largo de planeta.

La separación observada entre las estaciones más profundas (TCS300 y TCP500-940) del noreste y el suroeste de la desembocadura del río Magdalena podría explicarse por la disminución del efecto de la contracorriente y la diferencia en el tipo de sedimento. Según el análisis realizado por Benavides-Serrato y Borrero-Pérez (2000) a los equinodermos de la franja superior del talud continental del Caribe colombiano, se encontró una clara dominancia de la clase Asteroidea al noreste y de la clase Echinoidea al suroeste de la desembocadura del río Magdalena.

Los resultados de este trabajo coinciden en su mayoría con los análisis preliminares presentados por Ardila *et al.* (2003). Estos autores encontraron varias asociaciones en aguas someras (20-70 m), una a los 150 m, otra a los

300 m y otra a los 500 m. Estas dos últimas se segregaron claramente al noreste y suroeste del río Magdalena (Ardila *et al.* 2003). La formación de varios ensamblajes en aguas someras es una diferencia importante con la asociación encontrada para los equinodermos. Esta diferencia podría deberse a factores relacionados con estrategias de vida y diferencias propias de los dos grupos analizados, lo que constituye un tema de interés para futuras investigaciones.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Se hace un aporte significativo al conocimiento de los equinodermos al registrar por primera vez 81 especies para el Caribe colombiano, lo que se traduce en el aumento de un 30% del conocimiento que se tenía hasta mediados de la década de los 90. Dentro de los resultados ecológicos encontrados se identificó un patrón de distribución batimétrico claro, encontrándose cuatro conglomerados de estaciones (PCS20-70, PCP150, TCS300, TCP500-940). Estos conglomerados podrían ser explicados por la estructura de las masas de agua, corrientes marinas y el tipo de sedimento del Caribe colombiano.

El avance taxonómico de los equinodermos en Colombia durante este tiempo ha sido significativo. Sin embargo, es necesario revisar algunas familias, géneros y especies colectadas que se mantienen bajo algún grado de incertidumbre sobre su identidad. El uso de nuevas herramientas de identificación como por ejemplo el uso de análisis moleculares podrían permitir el esclarecimiento e identidad de posibles nuevos registros y/o especies.

Teniendo en cuenta el conocimiento adquirido y el interés del sector privado en la explotación de recursos en el margen continental colombiano se debe continuar con las exploraciones marinas a mayor profundidad. Para esto es necesario tener en cuenta el uso de nuevas herramientas de muestreo de la megafauna del fondo marino, ya que el equipo usado para los arrastres, una red tipo

semi-balón, no es el más adecuado para el análisis cuantitativo que se hizo, ya que no provee una medida exacta de la densidad poblacional (Holme y MacIntrye 1984).

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a todos los investigadores y personal de apoyo del Invemar, en particular al equipo del Grupo de Taxonomía, Sistemática y Ecología Marina que tuvieron que ver en este proceso. Así mismo a las entidades nacionales e internacionales por el soporte recibido en recursos económicos y asesorías taxonómicas. Igualmente se agradece al investigador Juan José Alvarado por sus aportes a éste documento.

## REFERENCIAS

- Aberson V.T. y H. Engel. 1960. Über einige echinodermen von El. Salvador (C-Amerika) und von den Farallon-Inseln (Kalifornien). *Senckenbergiana Biologica*, 41(5/6):363-366.
- Allain J. 1976. Erizos de la Costa Norte de Colombia. *Informe Museo del Mar*, 15:1-18.
- Álvarez L.R. 1981. Listado preliminar de los equinodermos de la costa Atlántica colombiana. *Boletín Museo del Mar*, 10:24-39.
- Agassiz A. 1888. Three Cruises of the United States Coast and Geodetic Survey steamer "Blake" in the Gulf of Mexico, in the Caribbean sea, and along the Atlantic coast of the United States, from 1877 to 1880. 2:85-127.
- Ardila N.E., J.M. Díaz, A. Gracia, P. Rachello, y E. Arboleda. 2003. Avances en el conocimiento de la malacofauna marina de Colombia (1997-2002). Resúmenes, XII Seminario Nacional del Mar, Santa Marta, 131 p.
- Baker A.N., F.W.E. Rowe y H.E.S. Clark. 1986. A new class of Echinodermata from New Zealand. *Nature*, 321:862-864.
- Barker M. 2001. Echinoderms 2000. Balkema, Lisse, 590 p.
- Bather F.A. 1900. Part III. The Echinoderma. En: Lankester E.R. (Ed.), *A Treatise on Zoology*, Adam and Charles Black, London, 1-344.
- Bayer F.M, G. Voss y R. Robins. 1970. Bioenvironmental and radiological safety feasibility studies Atlantic-Pacific interoceanic Canal. Report on the marine fauna and benthic Shelf Slope communities of the Isthmian Region, University of Miami, La Florida, 99 p., 11 tablas, 70 figs.

- Birkeland C. 1988. The influence of echinoderms on coral reef communities. *Echinoderm Studies*, 3:1-79.
- Benavides-Serrato M. y G. Borrero-Pérez. 2000. Equinodermos de la franja superior del talud continental del Caribe Colombiano. Tesis de Biólogo Marino, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Fé de Bogotá, 527 p.
- Benavides-Serrato M., G.H. Borrero-Pérez, O.D. Solano y G.R. Navas. 2001. Equinodermos del talud superior del Caribe colombiano. Resúmenes, IX Colacmar, San Andrés, 60:1-7.
- Benavides-Serrato M. y G.H. Borrero-Pérez. 2003. Echinoderms of the continental shelf and upper slope of the Colombian Caribbean Sea: New records and zoogeographical considerations, 570. En Heinzeller T. y J.H. Nebelsick, E. 2004. Echinoderms, München, Taylor & Francis Group, London.
- Benavides-Serrato M., G.H. Borrero-Pérez, G.R. Navas y O.D. Solano. 2005. Listado taxonómico de los asteroideos (Echinodermata: Asteroidea) de la plataforma y el talud superior del Caribe colombiano. *Revista de Biología Tropical*, 53(3):171-194.
- Borrero-Pérez G.H., O.D. Solano y M. Benavides-Serrato. 2002a. Lista revisada de los erizos (Echinodermata: Echinoidea) del mar Caribe colombiano. *Biota Colombiana*, 3(1):141-148.
- Borrero-Pérez G.H., M. Benavides-Serrato, O.D. Solano y G.R. Navas. 2002b. Equinoideos (Echinodermata: Echinoidea) colectados en la franja superior del talud continental del Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 31:133-166.
- Borrero-Pérez G.H., M. Benavides-Serrato, O.D. Solano y G.R. Navas. 2003a. Holothuroideos (Echinodermata: Holothuroidea) recolectados en el talud continental superior del Caribe colombiano. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*, 42(1y2):65-85.
- Borrero-Pérez G.H., M. Benavides-Serrato y O.D. Solano. 2003b. Distribution and abundance of Echinoderms on the continental shelf and upper slope of the Colombian Caribbean Sea. Zoogeography III, Munich, Alemania, 570 p.
- Borrero-Pérez G.H. y M. Benavides-Serrato. 2004a. Primer registro de *Clypeaster ravenelli* y *Centrostephanus longispinus longispinus rubricingulus* (Echinodermata: Echinoidea) para el Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 33:277-282.
- Borrero-Pérez G.H. y M. Benavides-Serrato. 2004b. New record of *Ophiosyzygus disacanthus* Clark, 1911 (Echinodermata: Ophiuroidea: Ophiomyxidae) in the Caribbean Sea. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 117(4):541-544.
- Borrero-Pérez G.H., M. Benavides-Serrato, O.D. Solano y G.R. Navas S. 2008. Brittle-stars (Echinodermata: Ophiuroidea) from the continental shelf and upper slope of the Colombian Caribbean. *Revista de Biología Tropical*, 56(3):169-204.
- Bourlat S.J., T. Juliusdottir, C.J. Lowe, R. Freeman, J. Aronowicz, M. Kirschner, E.S. Lander, M. Thorndyke, H. Nakano, A.B. Kohn, A. Heyland, L.L. Moroz, R.R. Copley y M.J. Telford. 2006. Deuterostome phylogeny reveals monophyletic chordates and the new phylum Xenoturbellida. *Nature*, 444:85-88.
- Caycedo I.E. 1978. Holothuroidea (Echinodermata) de aguas someras en la Costa Norte de Colombia. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta de Betín*, 10:149-198.
- Caycedo I.E. 1979. Observaciones de los Equinodermos en las Islas del Rosario. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín*, 11:39-47.
- Cherbonier G. 1959. Echinodermes de la Guyane Francaise. (Crinoides, Asterides, Ophiurides, Echinides, Holothurides) (2 note). *Bulletin du Muséum national d'histoire naturelle*, 31(16):8-171, 4 figs.
- Chesher R.H. 1968. The systematics of sympatric species in West Indian spatangoids: A revision of the genera *Brissopsis*, *Plethotaenia*, *Palaeopneustes* y *Saviniaster*. *Studies in Tropical oceanography*, 7:1-168.
- Clark A.H. 1915. A monograph of the existing crinoids. Volume 1, The Comatulids. Part 1. *Bulletin of the United States National Museum*, 82: 1-406, 17 láms.
- Clark A.H. 1921. A monograph of the existing crinoids. Volume 1, The Comatulids. Part 2. *Bulletin of the United States National Museum*, 82:1-795, 1-57 láms.
- Clark A.H. 1931. A monograph of the existing crinoids. Volume 1, The comatulids. Part 3. Superfamily Comasterida. *Bulletin of the United States National Museum*, 82: 1-816, 1-82 láms.
- Clark A.H. 1941. A monograph of the existing crinoids. Volume 1, The comatulids. Part 4a. Superfamily Mariametrida (except the family Colobometridae). *Bulletin of the United States National Museum*, 82: 1-603, 1-61 láms.
- Clark A.H. 1947. A monograph of the existing crinoids. Volume 1, The comatulids. Part 4b. Superfamily Mariametrida (concluded the family Colobometridae) and Superfamily Tropiometrida (except the families Thalassometridae and Charitometridae). *Bulletin of the United States National Museum*, 82:1-473, 1-43 láms.
- Clark A.H. 1950. A monograph of the existing crinoids. Volume 1, The comatulids. Part 4c. Superfamily Tropiometrida (the families Thalassometridae and Charitometridae). *Bulletin of the United States National Museum*, 82:1-382, 1-32 láms.
- Clark A.H. y A.M. Clark. 1967. A monograph of the existing crinoids. Volume 1, The comatulids. Part 5. Suborders Oligophreata (concluded) and Macrophreata. *Bulletin of the United States National Museum*, 82:1-860 láms.
- Clark H.L. 1898. Notes on Bermuda Echinoderms. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 11(19):407-413.
- Clark H.L. 1901a. Bermudan echinoderms. A report on observations and collections made in 1899. *Proceedings of the Boston Society of Natural History*, 29 (16):339-345.
- Clark H.L. 1901b. The echinoderms of Porto Rico. *Bulletin of United States Fish Commission*, 20(2):231-263, 14-17 láms.
- Clark H.L. 1915. Catalogue of recent ophiurans *Memoirs of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College*, 25(4):165-376, 1-20 láms.
- Clark H.L. 1919. The distribution of the littoral echinoderms of the West Indies. *Papers from the Department of Marine Biology of the Carnegie Institution of Washington*, 281(13):49-74.
- Clark H.L. 1933. A handbook of the littoral echinoderms of Porto Rico and the other West Indian Islands. Scientific Survey of Porto Rico and the Virgin Islands, *New York Academy of Sciences*, 16(1):3-139.
- Clark H.L. 1941. Reports on the Scientific results of the *Atlantis* expeditions to the West Indies under the joint of the University of Havana and Harvard University. *Memorias de la sociedad cubana de Historia Natural "Felipe Poey"*, 15(1):1-154.
- Clark H.L. 1942. The echinoderm fauna of Bermuda. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College*, 89(8):367-391, 1 láms.
- Clark A.M. y M.E. Downey. 1992. Starfishes of the Atlantic. Natural History Museum Publications. Chapman and Hall, London, 794 p.
- Clarke K.R. y Warwick R.M. 2001. Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. Natural Environmental Research Council, United Kingdom, 172 p.
- Cuénot L. 1948. Anatomie, éthologie et systématique des échinodermes. En: Grasse P.P. (Ed.), *Traité de Zoologie*, Masson, Paris, 11:3-275.
- Deichmann E. 1930. The holothurians of the western part of the Atlantic ocean. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College*, 71(3):43-236, 1-24 láms.
- Deichmann E. 1940. Report on the holothurians collected by the Harvard-Havana expeditions 1938 and 1939, with a revision of the Molpadonia of the Atlantic ocean. *Memorias de la Sociedad Cubana de Historia Natural*, 14:183-240.
- Deichmann E. 1954. The holothurians of the Gulf of Mexico. *Bulletin of the Museum of comparative Zoology at Harvard College*, 381-410.
- Eckman S. 1953. Zoogeography of the sea. Sidgwick and Jackson Limited, London, 417 p.
- Engel H. 1939. Echinoderms from Aruba, Curacao, Bonaire and Northern Venezuela. *Capitazoológica*, 8(4):1-12.
- Feral J.P. y B. David. 2001. Echinoderm research 2001. Balkema, Rotterdam, 337 p.
- Gage J.D., M. Pearson, D.S.M Billet, A.M. Clark, M. Jensen, G.L. Paterson y P.A. Tyler. 1985. Echinoderm zonation in the Rockall Trough (NE Atlantic). En Brendan F.K. y D.S. Brendan, 1984, *Echinodermata: Proceedings of the Fifth International Echinoderm Conference*, 31-36.
- Gallo N.J. 1985. Contribución al estudio de los equinodermos del Parque Nacional Natural Tayrona: III Asteroidea. Programa de Ecosistemas Marinos, Informes técnicos subproyectos Inderena -Invemar, 40 p.
- Gallo N.J. 1988a. Contribución al conocimiento de los equinodermos del Parque Nacional Natural Tayrona: I Echinoidea. *Trianea*, 1:99-118.
- Gallo N.J. 1988b. Contribución al conocimiento de los equinodermos del Parque Nacional Natural Tayrona: II Ophiuroidea. *Trianea*, 2:383-402.
- González D.N., O.D. Solano y G.R. Navas. 2002. Equinodermos colectados por la expedición CIOH-Invemar, Smithsonian desde Cartagena hasta el Golfo de Urabá, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 31:85-132.
- Guille A. 1980. Les Ophiures des marges continentales de la région Philippines, Indonésia, Distribution bathymétrique et étagement, Echinoderms present and past, 97-105. En Janguoux M. 1979, *Proceedings of the European Colloquium on Echinoderms*, Balkema, Brussels, Rotterdam, 428 p.
- Haedrich R.L. y J.E. Maunder. 1985. The Echinoderm fauna of the Newfoundland continental slope, 37-46. En Brendan F.K. y D.S. Brendan. 1984, *Echinodermata: proceedings of the Fifth International Echinoderm Conference*, Galway, A.A. Balkema, 662 p.
- Hecker B. 1990. Variation in megafaunal assemblages on the continental margin south of New England. *Deep Sea Research Part A.*, (37)1:37-57.
- Heinzeller T. y J.H. Nebelsick. 2004. Echinoderms: München. Taylor & Francis Group, London, 633 p.
- Hendler G., J. Miller, D. Pawson y M. Porter. 1995. Echinoderms of Florida and the Caribbean Sea. Stars, Sea Urchins and allies. Smithsonian Institution, Washington and London, 390 p.
- Holme N.A. y A.D. McIntyre. 1984. Methods for the study of marine benthos. IBP Handbook, n. 16, Blackwell Scientific Publications, London, 387 p.

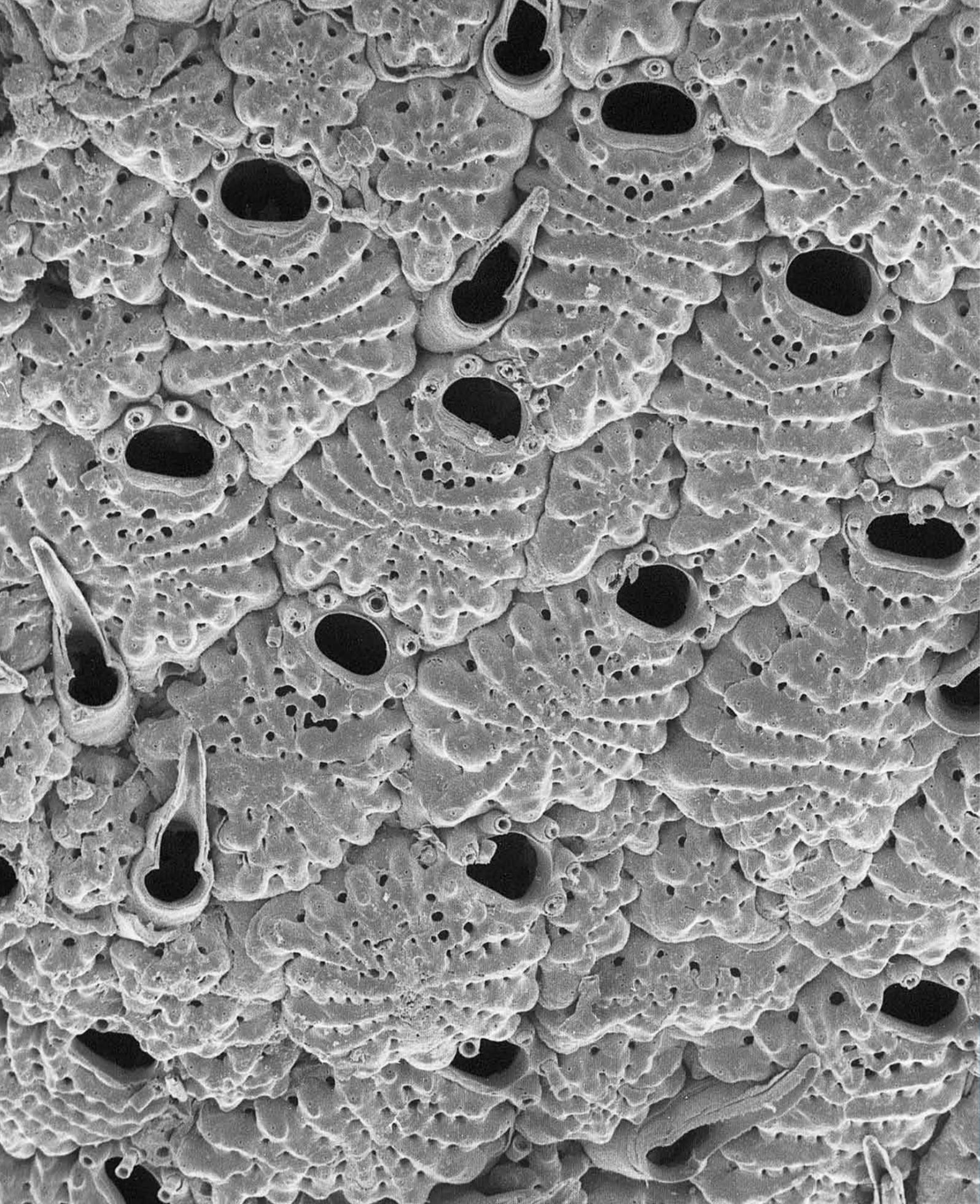
- Howell K.L., D.S.M. Billett y P.A. Tyler. 2002. Depth related distribution and abundance of sea-stars (Echinodermata: Asteroidea) in the Porcupine Seabight and Porcupine Abyssal Plain, N. E. Atlantic. *Deep Sea Research Part I*, (49)10:1901–1920.
- Hyman L.H. 1955. *The Invertebrates. Echinodermata. The coelomate Bilateria*. McGraw Hill Book Company, Estados Unidos, 763 p.
- Jangoux M. y J.M. Lawrence. 2001. *Echinoderm Studies 6*. A.A. Balkema Publishers, Holanda, 285 p.
- Kaandorp J.A. 1986. Rocky substrate communities of the infralittoral fringe of the Boulonnais coast, NW France: a quantitative survey. *Marine Biology*, 92:255-265.
- Kasyanov V.L. 2001. Reproductive strategy of marine bivalves and echinoderms. Science Publishers, Enfield, New Hampshire, 229 p.
- Lyman T.H. 1865. Ophiuridae and Astrophytidae. Illustrated Catalogue of the Museum of Comparative Zoology, Harvard University, 1:1-200, 2 láms.
- Lyman T.H. 1869. Preliminary report on the Ophiuridae and Astrophytidae dredged in deep water between Cuba and Florida Reef. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*, 1(10):309–354.
- Lyman T. 1871. Supplement to Ophiuridae and Astrophytidae. Illustrated Catalogue of the Museum of Comparative Zoology, Harvard University, 6:1–17, 1–2 láms.
- Lyman T. 1874. Ophiuridae and Astrophytidae, old and new. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College*, 3(10):221–272, 7 figs., 1–7 láms.
- Lyman T. 1875. Results of the Hassler Expedition (excluding Ophiuroidea and Astrophytidae). Illustrated catalogue of the Museum of comparative Zoology, Harvard University, 1-4.
- Lyman T. 1878a. Ophiuridae and Astrophytidae of the exploring voyage of *H.M.S. Challenger*, under Prof. Sir Wyville Thomson, F.R.S. Part 1. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College*, 5(7):65–168 1–10 láms.
- Lyman T. 1878b. Reports on the results of dredging, under the supervision of Alexander Agassiz, in the Gulf of Mexico, by the United States coast survey steamer “Blake”. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College*, 9:217-238. 1-3 láms.
- Lyman T. 1879. Ophiuridae and Astrophytidae of the exploring voyage of *H.M.S. Challenger* under Prof. Sir Wyville Thomson, F.R.S. Part 2. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College*, 6(2):17–83 11–19 láms.
- Lyman T. 1882. Report on the Ophiuroidea. Report on the Scientific Results of the Voyage of *H.M.S. Challenger* 1873–1876, *Zoology*, 5(14):1–386, 1–48 láms.
- Lyman T. 1883. Reports on the results of dredging, under the supervision of Alexander Agassiz, in the Caribbean Sea in 1878–79, and among the Atlantic coast of the United States during the summer of 1880, by the U.S. Coast Survey steamer *Blake*, Commander J.R. Bartlett, U.S.N., commanding. XX. Report on the Ophiuroidea. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College*, 10(6):227–287, 1–8 láms.
- Mah C.L. 2006. A new species of *Xyloplax* (Echinodermata: Asteroidea: Concentricycloidea) from the northeast Pacific: comparative morphology and a reassessment of phylogeny. *Invertebrate Biology*, 125(2):136–153.
- Matranga V. 2005. Echinodermata. Springer-Verlag, Berlin, 277 p.
- Messing C.G y J.H. Dearborn. 1990. Marine Flora and Fauna of the Northeastern United States. Echinodermata: Crinoidea. *NOAA Technical Report NMFS*, 91, 30p.
- Meyer D.L. 1972. *Ctenantedon*, a new Antedonid crinoid convergent with comasterids. *Bulletin of Marine Science*, 22(1):53-66.
- Meyer D.L. y D.B. Macurda. 1976. Distribution of shallow water crinoids near Santa Marta, Colombia. *Mitteilungen aus dem Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas Punta de Betín*, 8:141-156.
- Miller J.E y D.L. Pawson. 1984. Memoirs of the Hourglass Cruises. Holothurians (Echinodermata: Holothuroidea). Florida Department of Natural Resources, Marine Research Laboratory, 79 p.
- Moore R.C. 1966. Treatise on Invertebrate Paleontology. Part U, Echinodermata 3. Asterozoa-Echinozoa. Geological Society of America and University of Kansas, volumes 1 y 2, 695 p.
- Moore R.C. 1967. Treatise on Invertebrate Paleontology. Part S: Echinodermata 1, General Characters Homalozoa, Crinozoa (Except Crinoidea). Geological Society of America and University of Kansas, volumes 1 y 2, 296 p.
- Moore R.C. 1978. Treatise on Invertebrate Paleontology. Part T1 Echinodermata 2 - Crinoidea, Volumes 1. Geological Society of America and University of Kansas, 439 p.
- Moore R.C. 1978. Treatise on Invertebrate Paleontology. Part T2 Echinodermata 2 - Crinoidea, Volumes 2. Geological Society of America and University of Kansas, 411 p.
- Moore R.C. 1978. Treatise on Invertebrate Paleontology. Part T3 Echinodermata 2 - Crinoidea, Volumes 3. Geological Society of America and University of Kansas, 215 p.
- Mooi R. y M. Telford. 1998. Echinoderms: San Francisco. Balkema, Rotterdam, 923 p.
- Mortensen T. 1928. A Monograph of the Echinoidea. I. Cidaroida. C.A. Reitzel, Copenhagen, 551 p., 73 figs., 88 láms.
- Mortensen T. 1935. A Monograph of the Echinoidea. II. Bothriocidaroida, Melonechinoidea, Lepidocentroida and Stirodonta. C.A. Reitzel, Copenhagen, 647 p., 377 figs., 89 láms.
- Mortensen T. 1940. A Monograph of the Echinoidea. III (1). Aulodonta, with additions to (Lepidocentroida and Stirodonta). C.A. Reitzel, Copenhagen, II:370 p., 197 figs., 77 láms.
- Mortensen T. 1943a. A Monograph of the Echinoidea. III (2). Camarodonta I. Orthopsidae, Glyphocyphidae, Temnopleuridae and Toxopneustidae. C.A. Reitzel, Copenhagen, 553 p., 321 figs., 56 láms.
- Mortensen T. 1943b. A Monograph of the Echinoidea. III (3). Camarodonta II. Echinidae, Strongylocentrotidae, Parasalenidae, Echinometridae. C.A. Reitzel, Copenhagen, 446 p., 215 figs., 66 láms.
- Mortensen T. 1948a. A Monograph of the Echinoidea. IV (1). Holactypoida, Cassiduloida. C.A. Reitzel, Copenhagen, 363 p., 326 figs., 14 láms.
- Mortensen T. 1948b. A Monograph of the Echinoidea. IV (2). Clypeastroidea. Clypeastridae, Arachnoididae, Fibulariidae, Laganidae and Scutellidae. C.A. Reitzel, Copenhagen, 471 p., 258 figs., 72 láms.
- Mortensen T. 1950. A Monograph of the Echinoidea. V (1). Spatangoida. I. Protosternata, Meridosternata, Amphisternata, Palaeopneustidae, Palaeostomatidae, Aeropsidae, Toxasteridae, Micrasteridae, Hemiassteridae. C.A. Reitzel, Copenhagen, 422 p., 315 figs., 25 láms.
- Mortensen T. 1951. A Monograph of the Echinoidea. V (2). Spatangoida. II. Amphisternata II, Spatangidae, Loveniidae, Pericosmidae, Schizasteridae, Brissidae. C.A. Reitzel, Copenhagen, 593 p., 286 figs., 64 láms.
- Palacio F.J. 1974. Peces colectados en el Caribe colombiano por la universidad de Miami. *Boletín Museo del Mar*, 6:3-137.
- Paterson G.L.J. 1985. The deep-sea Ophiuroidea of the North Atlantic Ocean. *Bulletin of the British Museum (Natural History)*, 49(1):1-162, 1-59 figs.
- Pawson D.L y I.E. Caycedo. 1980. *Holothuria (Thymiosycia) tomasi* new species, a large Caribbean coral reef inhabiting sea cucumber (Echinodermata: Holothuroidea). *Bulletin of Marine Science*, 30(2):454 -459.
- Pawson D.L. 2007. Phylum Echinodermata. *Zootaxa*, 1668:749–764.
- Pawson D.L. y B.H. Fell. 1965. A revised classification of the Dendrochirote Holothurians. *Breviora*, 214:1-7.
- Pawson L. y D.J. Pawson. 2008. An Illustrated key to the sea cucumbers of the South Atlantic Bight. Prepared by the Southeastern Regional Taxonomic Center by Rachel A. King. South Carolina, Department of Natural Resources, 37 p.
- Pérez-Farfante I. 1959. Los erizos irregulares de Cuba. *Islas*, 1(2):331-372.
- Piepenburg D., J. Voß y J. Gutt. 1997. Assemblages of sea stars (Echinodermata: Asteroidea) and brittle stars (Echinodermata: Ophiuroidea) in the Weddell Sea (Antarctica) and off Northeast Greenland (Arctic): A comparison of diversity and abundance. *Polar Biology*, 17(4):305-322.
- Reyes J.O, N. Santodomingo, A. Gracia, G.H. Borrero-Pérez, G.R. Navas, L.M. Mejía-Ladino, A. Bermúdez y M. Benavides. 2005. Southern Caribbean azooxanthellate coral communities off Colombia, 309-330. En Freiwald A. y J.M. Roberts, Cold water Corals and Ecosystems, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1267 p.
- Rowe G.T., P.T. Polloni y R.L. Haedrich. 1982. The deep-sea macrobenthos on the continental margin of the northwest Atlantic Ocean. *Deep Sea Research Part A*, 29(2):257–278.
- Sanders H.L. y R.R. Hessler. 1969. Ecology of the deep-sea benthos. *Science*, 163:1419–1424.
- Schoppe S. 1996. *Ophiothrix synoecina* new species (Echinodermata: Ophiuroidea) from the coast of Colombia. *Bulletin of Marine Science*, 58(2):429-437.
- Serafy K.D. 1979. Memoirs of the Hourglass Cruises, Echinoids (Echinodermata: Echinoidea). Florida Department of Natural Resources, Marine Research Laboratory, 119 p.
- Shin H.C. y C.H. Koh. 1993. Distribution and abundance of ophiuroids on the continental shelf and slope of the East Sea (southwestern Sea of Japan), Korea. *Marine Biology*, 115:393-399.
- Tommasi L.R. 1971. Equinodermes da região entre o Amapá (Brasil) e a Florida (E.U.A.), 1: Crinoidea. Contribuições Avulsas do Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, série Oceanografia Biológica, 23:1-6.
- Toral-Granda V., A. Lovatelli y M. Vasconcellos. 2008. Sea cucumbers. A global review of fisheries and trade. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, Rome, n. 516, 317 p.
- Voss G. 1966. Narrative of the cruise P-6607 to the Southwestern Caribbean, *R/V John Elliot Pillsbury*. The Institute of Marine Science, University of Miami, 38 p.

## BRIOZOOS: UNA APROXIMACIÓN A SU CONOCIMIENTO EN LOS FONDOS DEL CARIBE COLOMBIANO (20-800 m).

*Erika Montoya-Cadavid<sup>1</sup> y Paola Flórez<sup>1</sup>*

1. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - Invemar, Programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos, Museo de Historia Natural Marina de Colombia, Cerro de Punta Betín, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: [erika\\_montoya@invemar.org.co](mailto:erika_montoya@invemar.org.co) / [paola.florez@invemar.org.co](mailto:paola.florez@invemar.org.co)

**Figura separador:** Detalle de los zooides de una colonia de *Puellina* sp. Fotografía: Paola Flórez.



## RESUMEN

Entre los años 2002 y 2010 se desarrollaron en el Caribe colombiano las campañas Macrofauna II, Marcoral, ANH I y ANH II durante las cuales se obtuvo material de briozoos que constituyó un aporte novedoso y significativo a los inventarios de biodiversidad del país. Como una aproximación al conocimiento del grupo en la plataforma y el talud superior se presenta información general sobre el phylum y se describen los resultados encontrados en 58 estaciones ubicadas entre 20 y 800 m, a partir de las cuales se identificaron 112 especies pertenecientes a los tres ordenes actuales, entre los cuales Cheilostomata fue el más representativo (83%). Un número significativo de especies fueron registradas por primera vez para Colombia, el Caribe y el Atlántico Occidental Tropical. Los resultados indican que la distribución de los briozoos en los fondos del Caribe colombiano está determinada directamente por la variedad de sustratos duros presentes y las características físicas propias de cada área, lo cual favoreció la presencia de una mayor cantidad de especies en las estaciones ubicadas frente a los departamentos de La Guajira, Magdalena y Atlántico. La fauna de briozoos encontrada es principalmente somera y se expresó con un mayor número de especies entre los 20 y 70 m; mientras en el talud la franja de los 300 m fue la más rica. Se detalla información sobre las especies y sustratos más frecuentes y se discute la necesidad de dar continuidad al estudio del grupo en diferentes ecosistemas. Finalmente se describen los principales alcances, vacíos y perspectivas de investigación en el país.

**Palabras clave:** *Bryozoa*, *Stenolaemata*, *Cheilostomata*, *Ctenostomata*, *Biodiversidad*, *Caribe colombiano*, *Fondos blandos*.

## ABSTRACT

Between 2002 and 2010 in the Colombian Caribbean the exploration campaigns Macrofauna II, Marcoral,

ANH I and ANH II were developed. During this expeditions bryozoans specimens was obtained, which was a new and significant contribution to biodiversity inventories in the country. As an approach to the knowledge of the group in the continental shelf and upper slope it presents an overview of the phylum and it describes the results found in 58 stations located between 20 and 800 m. A total of 112 species were identified belonging to the three extant orders, among which Cheilostomata (83%) was the most representative. A significant number of species were recorded for first time in Colombia, the Caribbean and Western Atlantic Tropical. The results indicate that the bryozoan's distribution on the bottom of the Colombian Caribbean is determined directly by the variety of hard substrates available and by the physic characteristics of each area, thus favoring the presence of greater numbers of species at stations located in front the departments of La Guajira, Magdalena and Atlantico. The bryozoans found is mainly shallow and showed a largest number of species between 20 and 70 m. Otherwise the strip of 300 m was the richest in the slope. Detailed information about the species and most common substrates is presented, and also a discussion about the need to continue with the group studies in the different ecosystems. Finally the main gaps and scope for further research are described.

**Key words:** *Bryozoa*, *Stenolaemata*, *Cheilostomata*, *Ctenostomata*, *Biodiversity*, *Colombian Caribbean*, *Soft bottoms*.

## INTRODUCCIÓN

Los Bryozoa son criaturas fascinantes que sorprenden por su increíble variedad de formas, los hermosos diseños de sus esqueletos y su gran complejidad estructural; estos invertebrados han sido escasamente estudiados en cuanto a su biología, ecología y relaciones evolutivas; pese a que científicamente representan uno de los grupos más interesantes por su enorme potencial de uso en diferentes campos como la farmacéutica, la paleontolo-

gía, el clima y la estratigrafía, entre otros. Estos animales antiguos, aparecieron por primera vez en el planeta hace aproximadamente 500 millones de años durante el período Ordovícico y tuvieron su momento de mayor esplendor a lo largo de la era Paleozoica (hasta hace unos 250 Ma), dejando como prueba cerca de 15000 especies fósiles hasta ahora descritas; actualmente son algunos de los invertebrados más frecuentes, abundantes y diversos entre los grupos acuáticos bentónicos, con alrededor de 6000 especies vivientes identificadas y miles aún por describir (Clarkson 1993, Gordon *et al.* 2009).

Los briozoos son organismos coloniales mayoritariamente marinos, de los cuales sólo se conocen unas 100 especies que habitan aguas dulces (d'Hondt 2005); principalmente se trata de animales sedentarios (sésiles) que se encuentran adheridos al sustrato, aunque también hay una pocas especies que viven en la columna de agua del océano abierto (pelágicas) (Peck *et al.* 1995) y otras que pueden desplazarse libremente sobre el fondo. Se encuentran ampliamente distribuidos desde el trópico hasta los polos y a partir de las aguas superficiales hasta profundidades de más de 8000 m (Hayward 1981). Tienen la capacidad de colonizar los más variados sustratos como granos de arena, rocas, madera, algas, corales (en las superficies que estén libres de cálices), conchas, caparazones, raíces y estructuras o materiales



**Figura 1.** Colonia de *Bugula dentata* (Lamouroux, 1816), Arraial do Cabo, Rio de Janeiro (Brazil). Fotografía Laís Vieira Ramalho.

fabricados por el hombre como plástico, boyas, cascos de barcos y pilotes de muelles, entre otros.

En Colombia, como en muchos lugares del mundo, a pesar de que representan un componente importante de la fauna bentónica, son poco familiares para el observador común e incluso para la mayoría de investigadores, ya que a menudo suelen ser confundidos con hidroides, corales y algas. Si se requiere de un nombre común, en español simplemente los conocemos como briozoos o briozoarios; no obstante en otros idiomas, especialmente en inglés, es frecuente encontrar que se refieren a ellos de diferentes maneras; de tal modo que aquellos que tienen crecimiento arbustivo tupido son conocidos como animales musgo (moss animals), las formas incrustantes suaves son nombradas tapetes marinos (sea mats) y las colonias rígidas, ramificadas y coloreadas se conocen como corales encaje (lace corals).

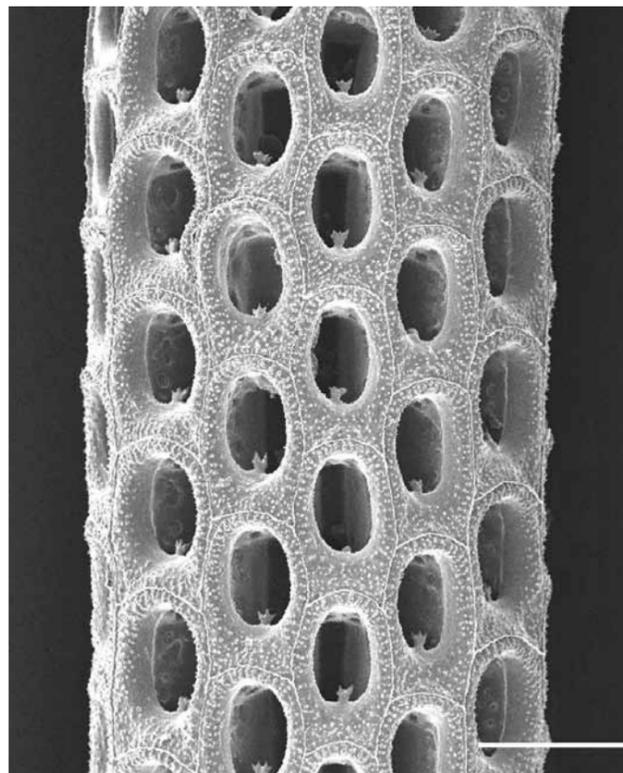
El phylum ha sido conocido a través de los años por diferentes nombres. Inicialmente los animales fueron llamados Zoophytes por su semejanza con las plantas; posteriormente J.V. Thompson en 1830 empleó el nombre Polyzoa (muchos animales) el cual se hizo muy popular en Gran Bretaña, Australia y las colonias inglesas; un año después el científico alemán Gottfried Ehrenberg introdujo el término Bryozoa (animales musgo) que llegaría a ser más usado en los Estados Unidos, aunque ambos nombres se emplearon casi paralelamente durante años. En 1869 Heinrich Nitsche estableció que Bryozoa incluía dos grupos, los Entoprocta (organismos con el ano por dentro de la corona ciliada) y los Ectoprocta (organismos con el ano por fuera de la corona ciliada), razón por la cual también es posible encontrar en la literatura que se refieran al phylum con ese último nombre (Soule *et al.* 1995, Gordon *et al.* 2009). Años después, estudios basados en las características morfológicas externas sugirieron que Ento y Ectoproctos eran taxonómicamente independientes y por esta razón fueron separados en phyla diferentes, desde ese momento el nombre Bryozoa se ha usado únicamente para referirse

a los Ectoprocta. Otro nombre usado durante años fue el de loforados, el cual incluía a briozoos, braquiopodos y foronídeos quienes tienen en común la presencia del lofóforo; sin embargo, en la actualidad esta categoría no es de uso aceptado debido a que no obedece a un real parentesco entre los grupos, ya que cada uno de ellos tiene antepasados evolutivos diferentes (polifiléticos).

El phylum fue oficialmente reconocido como Bryozoa en 1965, cuando se conformó la Asociación Internacional de Briozoología (IBA por sus siglas en inglés) y por consenso entre los investigadores se adoptó esta única denominación.

## DEFINICIÓN DEL GRUPO

Los briozoos son organismos coloniales que pueden alcanzar varios centímetros de longitud y están formados

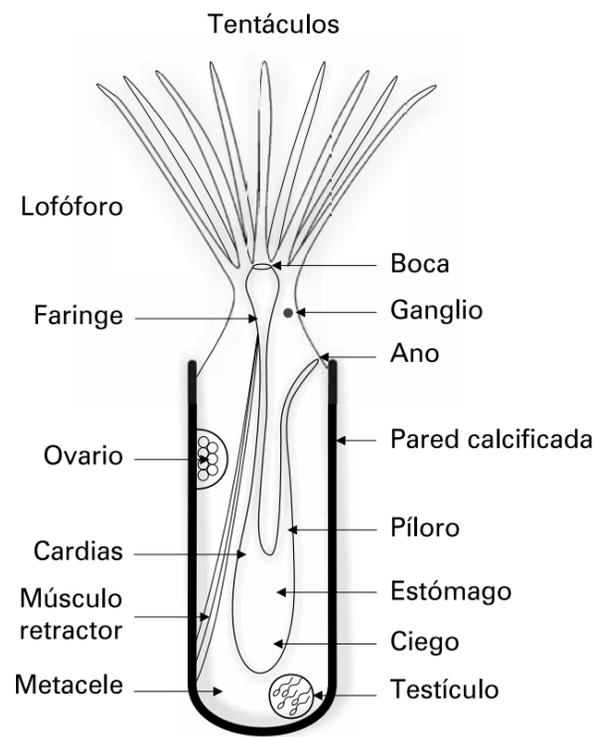


**Figura 2.** Visualización de los zooides de un ejemplar de *Biflustra* sp. (500µm).

por una gran cantidad de individuos llamados zooides, que a simple vista lucen como pequeñas cajas o tubos de no más de un milímetro de largo (Figura 2).

Dentro de una colonia los zooides pueden presentar diferentes formas dependiendo de la función que cumplan (polimorfismo), lo cual le permite al organismo desempeñarse como una unidad integral con tareas repartidas. La mayoría de los zooides se encargan de la alimentación (autozooides), pero existen otros que se ocupan de funciones más especializadas como la fijación (p.ej. quenzoides), reproducción (p.ej. gonozooides, ovelas), defensa (p.ej. avicularias) y locomoción (p.ej. vibráculos). Cada zooides está compuesto por una cámara calcificada o quitinosa (zoecio) y un polípido que se alberga en el interior.

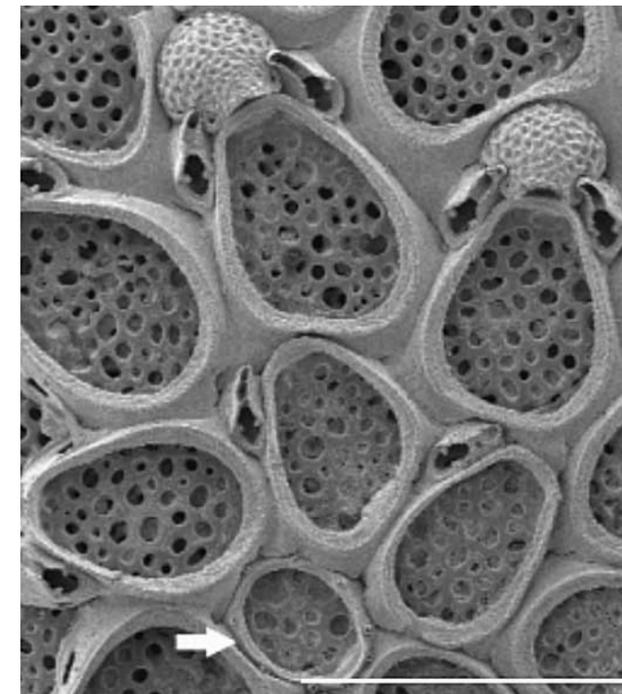
El polípido es la parte blanda del organismo donde se encuentran los órganos y tejidos; está formado por



**Figura 3.** Esquematización de la anatomía de un briozoos. Modificado de Hayward y Ryland (1999).

el órgano alimentador o lofóforo, que básicamente es una corona de tentáculos ciliados; el introvertido o vaina donde se almacena el lofóforo; un celoma o cavidad corporal amplia y el tubo digestivo. Este último se caracteriza por tener forma de "U", empieza con la boca y es seguido por el esófago, una estructura trituradora semejante a una molleja (en algunos Ctenostomados), un estómago dividido en tres partes: cardias, ciego y píloro ascendente, y por último el intestino, el cual finaliza con el ano ubicado a un lado de la boca pero por fuera del lofóforo, siendo ésta una de las características más notables del phylum. Cuentan con sistema muscular y nervioso, el segundo compuesto por un ganglio ubicado entre la boca y el ano del cual se derivan nervios hacia el resto del cuerpo; no presentan sistema circulatorio, respiratorio, ni excretor (Hayward y Ryland 1999, d'Hondt 2005) (Figura 3).

Los briozoos son hermafroditas con tendencia protándrica, es decir que tienen gónadas masculinas y feme-

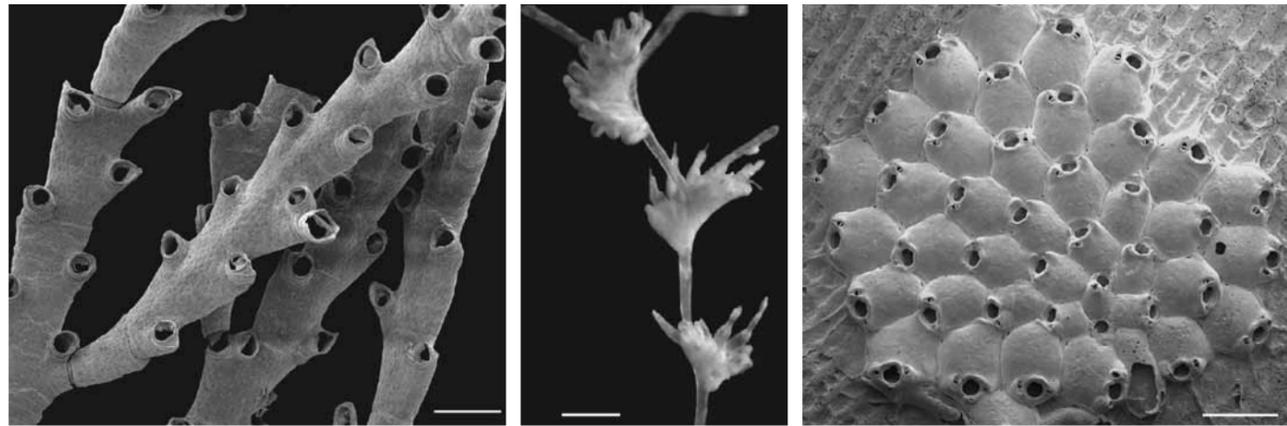


**Figura 4.** *Parellisina* sp. colonizando sobre una esponja. La flecha señala la ancéstrula (500µm).

ninas, pero las masculinas se desarrollan primero. La mayoría de especies incuban sus huevos en cámaras especiales y generan una larva de tipo lecitotrófico que se caracteriza por presentar bandas ciliadas que le permiten nadar mientras ubica el sustrato adecuado para depositarse, esta larva tiene una vida corta porque se nutre únicamente de sus reservas; también existen unas pocas especies que producen larvas bivalvas denominadas cifonautas las cuales poseen un tracto digestivo y por ello son capaces de alimentarse del plancton, lo que les permite permanecer por más tiempo sin asentarse. Una vez la larva encuentra un sustrato adecuado, se fija a él y luego se transforma en una ancéstrula (Figura 4) o primera cámara a partir de la cual se generan las demás mediante gemación, un proceso que consiste en la clonación de múltiples cámaras que le permite a la colonia crecer y desarrollarse (Cook 1985, McKinney y Jackson 1989).

El phylum Bryozoa está compuesto por tres clases (Figura 5): Stenolaemata, que agrupa individuos marinos, con zooides tubulares, calcificados y no operculados, en la cual sólo el orden Cyclostomata incluye especies vivientes. Gymnolaemata, constituida por la mayoría de especies marinas existentes, de zooides cilíndricos o con forma de caja y crecimiento laminar o erecto; está dividida en dos órdenes, Ctenostomata que contiene las formas quitinosas y Cheilostomata que incluye las calcificadas (Soule *et al.* 1995). La clase Phylactolaemata reúne a los briozoos de aguas dulces, los cuales tienen cuerpos gelatinosos, un lofóforo con forma de herradura y se caracterizan por presentar unas estructuras reproductivas latentes denominadas estatoblastos. Debido a que este capítulo se refiere especialmente a briozoos marinos, no trataré esta clase; sin embargo, para obtener mayor información se recomienda consultar a Lacourt (1968), Mukai (1982), Wood (2000), Wood y Okamura (2004), Okuyama *et al.* (2003; 2006) y Orellana (2006).

A través de los años, en el continuo esfuerzo por esclarecer la sistemática del grupo, muchos autores han

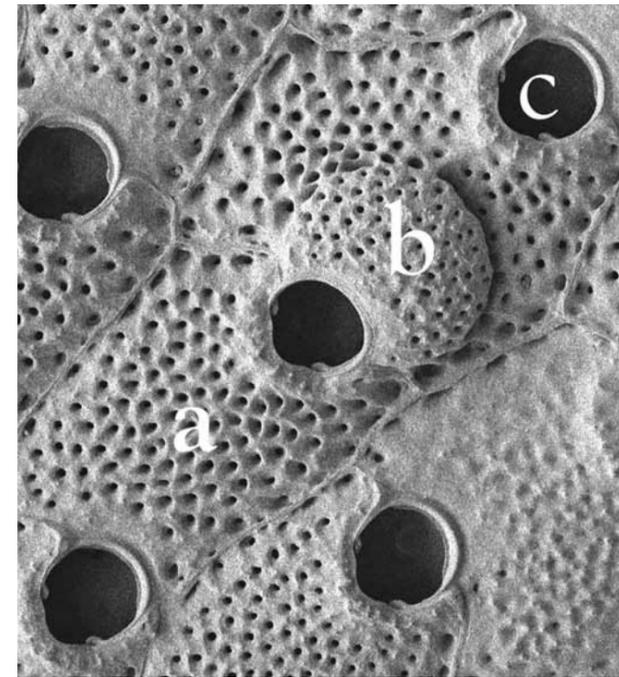


**Figura 5.** Representantes de los ordenes de Bryozoa. Izquierda: cyclostomado *Crisia* sp. (escala 200µm). Centro: ctenostomado *Amathia distans* (escala 0.5 mm). Derecha: cheilostomado sin identificar (escala 500µm).

propuesto diferentes modelos de clasificación para cada una de las clases, lo cual en ocasiones puede ser confuso, en especial para los nuevos briozoólogos. En el caso de Cyclostomata, el trabajo diagnóstico más completo es el de Borg (1944), complementado por los de Boardman *et al.* (1992), Taylor y Jones (1993), Boardman (1998) y Taylor (2000, 2001), quienes han logrado importantes progresos en la definición de las categorías taxonómicas, especialmente en la identificación de subordenes y familias a partir del análisis microestructural. Para Cheilostomata una guía importante es el “Compendio interino de familias, géneros y subgéneros” elaborado por Dennis Gordon (2009), el cual recopila los resultados de los trabajos sistemáticamente relevantes de los distintos investigadores del mundo, si bien este trabajo incluye alguna información que aún no ha sido publicada, actualmente constituye una de las herramientas disponibles más completas y usadas; el listado es actualizado periódicamente y puede ser consultado libremente a través del portal de la IBA (<http://bryozoa.net/indexes.html>). Respecto a Ctenostomata son de gran utilidad los estudios de d’Hondt (1983, 1985) y el análisis filogenético de las superfamilias realizado por Todd (2000). Asimismo para la identificación taxonómica de las especies de la región Caribe y el Atlántico Occidental Tropical es imprescindible consultar los trabajos de Osburn (1927,

1940, 1947), Canu y Bassler (1928), Marcus (1937, 1939, 1955), Maturo (1957), Lagaaij (1963), Banta y Carson (1977), Winston y Eiseman (1980), Winston (1982, 1984, 1986, 2004, 2005), Fransen (1986), Winston y Håkansson (1986), Ramalho *et al.* (2009), Winston y Maturo (2009) y Winston y Woollacott (2009).

Tradicionalmente la identificación de los briozoos se ha basado principalmente en las características externas de las colonias y los zooides, aunque se reconoce que también son de gran utilidad otros aspectos como la histología, la reproducción y descripción de las partes blandas, especialmente del lofóforo; sin embargo, tales aspectos han sido menos usados porque son más difíciles de evaluar. Comparativamente entre los órdenes, la taxonomía de los Cheilostomata es mejor comprendida debido a que este grupo tiene una gran complejidad esquelética que se manifiesta por la presencia de diferentes estructuras (p.ej. ovicelas, poros, espinas, avicularias) con múltiples variaciones de forma, tamaño y composición, caracteres que pueden ser evaluados más fácilmente (Figura 6). El método descriptivo ha resultado ser bastante confiable para este orden ya que se ha comprobado que pequeñas variaciones estructurales corresponden con la diferenciación genética entre las especies (Humphries 1975, McKinney y Jackson 1989).



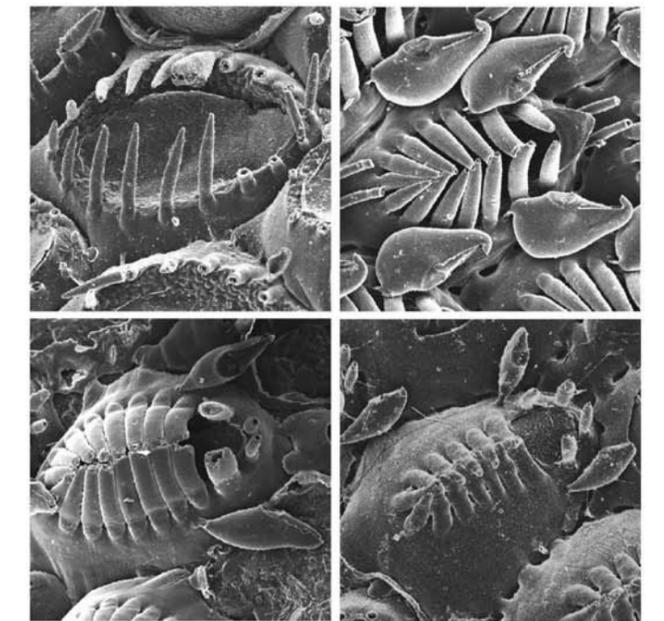
**Figura 6.** Ejemplo de algunos caracteres evaluados para la identificación en cheilostomados: (a) campo frontal poroso, (b) ovicela globular perforada y (c) orificio ovoide con proyecciones laterales (cóndilos) orientadas hacia adentro (escala 200µm).

En contraste, para los Cyclostomata la descripción morfológica no siempre es suficiente para la identificación, pues en muchos casos la estructura externa de las especies es muy simple y no permite notar las diferencias, así que generalmente se requiere complementar los análisis con otros de tipo microestructural y molecular (Taylor 2001). En el caso de Ctenostomata, el factor más crítico lo representa la conservación de las estructuras en óptimo estado, pues las especies de este grupo no son calcificadas sino quitinosas, lo que las hace más frágiles y dificulta el proceso de identificación; adicionalmente, como en los cyclostomados, las diferencias intra-específicas pueden ser muy sutiles, por lo que es mejor complementar con otros estudios.

Entre los briozoos actuales los cheilostomados representan el orden más numeroso y diverso; éstos aparecieron al final del Jurásico (161-145 Ma) y alcanzan hoy unos 1051 géneros (Gordon 2009). Los estudios in-

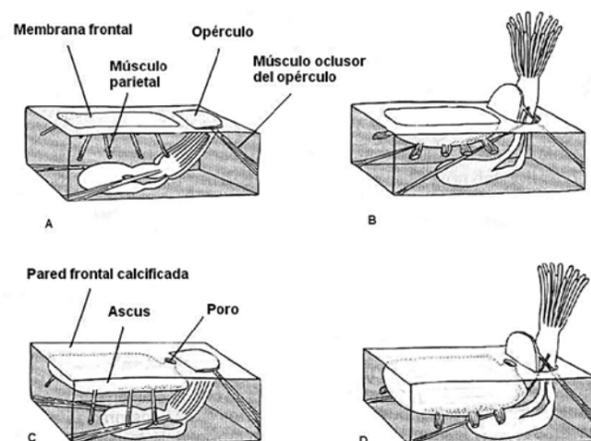
dican que el éxito en gran parte ha sido producto de la incorporación de diferentes cambios en la morfología de los zoocios, los cuales posiblemente estuvieron relacionados con proporcionar protección a las partes blandas del zooide ante el ataque de depredadores. Se estima que de forma muy lenta en la escala de tiempo (entre 125 y 86 Ma), se dio un aumento progresivo en la calcificación del área frontal; de tal manera que en los primeros cheilostomados dicha área estaba cubierta básicamente por una membrana no calcificada, alrededor de la cual más adelante se desarrollaron espinas articuladas, posteriormente las articulaciones se perdieron haciendo que las espinas o costillas se tornaran rígidas sobre el campo frontal y millones de años después las costillas se fusionaron, reduciendo en consecuencia el área membranosa y dando origen al campo costal (Dick *et al.* 2009) (Figura 7).

Dichas modificaciones trajeron consigo algunos desafíos para mantener el mecanismo hidrostático de ever-



**Figura 7.** Zooides de cuatro especies del género *Cauloramphus* mostrando la evolución del campo frontal desde una especie con membrana frontal y espinas hasta una especie con campo calcificado y espinas fusionadas. Fotografías de Matthew H. Dick.

sión o salida del lofóforo, ya que al estar el campo calcificado se restringía la función de los músculos de la membrana frontal para comprimir la base del órgano y desencadenar el desplazamiento de fluidos internos que finalmente lo impulsan hacia afuera para llevar a cabo la alimentación. La compensación para esta limitante vino a través del desarrollo del *ascus* o saco de compensación (11 Ma), que está conectado a un poro ubicado en la parte inferior del orificio principal, el cual le permite al saco llenarse de agua y alcanzar el volumen necesario para expandirse y aumentar la presión interna, lo que ejerce fuerza sobre las paredes del lofóforo y lo propulsa hacia afuera (Camacho 1966, McKinney y Jackson 1989, Hayward y Ryland 1998) (Figura 8).



**Figura 8.** Salida del lofóforo. A-B cheilostomados con membrana frontal. C-D cheilostomados con pared calcificada. Esquema según Hayward y Ryland (1999).

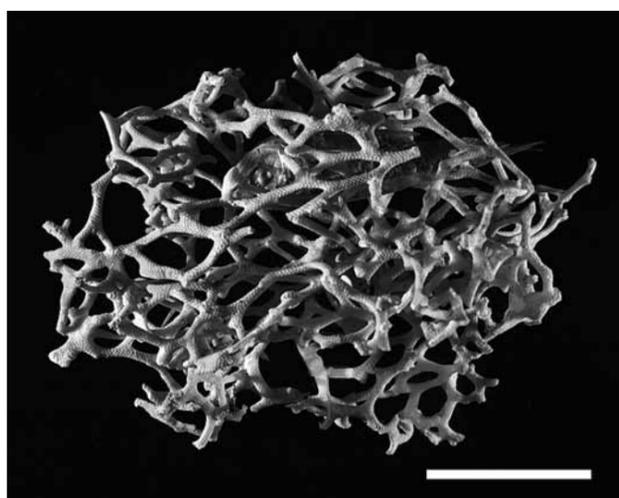
El registro fósil y los representantes vivos que evidencian las diferentes etapas descritas durante el proceso evolutivo de calcificación respaldan el hecho de que el campo costal fue la innovación clave en la diversificación del grupo, la cual dio paso a la generación de otros tipos de calcificación frontal (p.ej. lepralióidea, umbunolíoidea), que combinados con la incorporación de diversas estrategias de vida como el incremento en la integración de los zooides, diferentes tipos de larvas y capacidad para adaptar la forma de la colonia a las

condiciones ambientales (plasticidad fenotípica) entre otras, originaron la amplia variedad de especies de cheilostomados que encontramos en la actualidad (McKinney y Jackson 1989, Clarkson 1993).

## IMPORTANCIA

En general los briozoos son más abundantes y desarrollados en las áreas templadas y subtropicales donde la estacionalidad y variabilidad de parámetros ambientales favorecen su éxito, allí prácticamente reemplazan a los corales zooxantelados en abundancia y estructura (Battershill *et al.* 1998). No obstante, la diversidad de los mismos no necesariamente se incrementa con el gradiente latitudinal; de hecho, se ha encontrado que en áreas tropicales existen numerosos briozoos asociados a áreas arrecifales, que aunque tienen un volumen inferior al de los corales, cumplen con un papel significativo en la cementación, compactación y estabilización de las superficies en estos ambientes (Winston 1986, Soule *et al.* 1995).

Los briozoos también han sido reconocidos como importantes bioconstructores, es decir organismos capa-



**Figura 9.** Colonia de *Biflustra denticulata* formando una estructura tridimensional compacta de aprox. 20 cm. Nótese el pequeño pez en su interior. Escala 5 cm.

ces de generar estructuras tridimensionales que modifican el hábitat y su complejidad, proporcionando estructuras y espacios para el establecimiento de otros organismos (Cocito 2004) (Figura 9); algunos ejemplos de estructuras de este tipo han sido documentadas en diferentes partes del mundo (Bradstock y Gordon 1983, Bijma y Boekschoten 1985, Bone y Wass 1990) entre las cuales el ejemplo más impresionante lo constituye el único arrecife de briozoos conocido en la actualidad, el cual tiene una alta diversidad de especies asociada y se eleva 3 m sobre el fondo en Joulter Cay Bahamas (Cuffey *et al.* 1977).

Los briozoarios ecológicamente son pioneros en la ocupación de los espacios, preparando las superficies para el establecimiento de otros organismos; tienen la capacidad de filtrar y purificar volúmenes importantes de agua en los lugares donde se encuentran (Winston 1995) y representan un eslabón importante en la cadena alimenticia pues son consumidores primarios que se nutren a partir de pequeños organismos (p.ej. bacterias, protistas, esporas algales, diatomeas) y a su vez sirven de alimento a animales pastoreadores como nudibrancos, erizos, pignogónidos y peces (Soule *et al.* 1995).

El phylum es de gran interés porque ofrece múltiples posibilidades de estudios no sólo de aspectos biológicos y ecológicos, sino también en relación al impacto ambiental y económico. Asimismo debido a su antiguo y extenso registro fósil, son importantes en trabajos de estratigrafía y paleontología, así como en estudios sobre efectos de cambios ambientales (Smith y Marcus 2004, Kelmo *et al.* 2004). Por otra parte representan gran potencial para el desarrollo industrial, respecto a lo cual cabe destacar el hecho de que diferentes especies han sido reconocidas por ser fuentes de sustancias bioactivas de utilidad en la fabricación de fármacos, tales como las briostatinas y amatinas (Philip *et al.* 1993, Kraft 1993, Kuziriam *et al.* 2006). En dicho sentido el ejemplo más conocido es el Bryostatin, un medicamento generado a partir de algunos compuestos obtenidos del briozoo

*Bugula neritina* y que actualmente está siendo usado en humanos por el Instituto Nacional de Cancerología de los Estados Unidos para el tratamiento de diferentes condiciones como enfermedades degenerativas cerebrales, muerte neuronal por traumas y diferentes tipos de cáncer.

Otro aspecto importante, está relacionado con el hecho de que el phylum es uno de los seis grupos de invertebrados documentados que incluyen organismos marinos incrustantes que afectan el desempeño o funcionamiento de estructuras fabricadas por el hombre, comúnmente conocidos como fauna incrustante indeseada o "fouling"; por ello su proliferación en un ambiente particular exige enormes esfuerzos económicos y técnicos para su control, lo que constituye otro campo de interés especialmente en relación a la manufactura de pinturas y protectores antifouling (Gordon y Mawatari 1992).

## ANTECEDENTES

El estudio de biodiversidad del grupo en Colombia se remonta 70 años atrás, con el desarrollo de la expedición Atlántica del Allan Hancock de 1939 a bordo del *Velero III*, la cual recorrió las costas desde el canal de Panamá hasta Venezuela y de allí a las Islas de Trinidad y Tobago tomando muestras con dragas sobre la plataforma continental. A su paso por La Guajira colombiana recolectó material entre los 3 y 119 m de profundidad en tres estaciones: Cabo de La Vela, Bahía Honda y un punto costa afuera denominado por la expedición como Galea Point Light; este material fue identificado por el Dr. Raymond Osburn quien publicó años después los resultados que constituirían por más medio siglo el único inventario de briozoos del país (Osburn 1947). Transcurrieron cuarenta años antes de que se retomara el trabajo con el grupo, a través de la realización de tres estudios puntuales en áreas poco profundas de Santa Marta (Ortiz 1987, Rozemeijer y Dulfer 1987), la Ciénaga Grande

de Santa Marta y las Bahías de Chengue y Nenguan-ge (Reyes y Campos 1992). Casi una década después, como parte del Macroproyecto Macrofauna del Caribe colombiano que venía desarrollado el Invemar desde 1997, se adelantaron las recolectas de la Campaña Macrofauna II entre 20 y 500 m de profundidad (marzo de 2001), siendo ésta la primera oportunidad para evaluar preliminarmente la fauna de briozoos asociada a los fondos blandos a lo largo del Caribe continental colombiano (Figura 10). El material fue analizado por Flórez y Montoya-Cadavid (2004) durante el desarrollo de su trabajo de grado, producto del cual se creó la colección de Bryozoa en el Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC), se sistematizaron los registros en el Sistema de Información sobre Biodiversidad Marina (SIBM) y se publicaron parte de los resultados (Flórez *et al.* 2007); esta información junto con la obtenida en una evaluación de la fauna asociada a estructuras artificiales en las plataformas de extracción de gas Campo Chuchupa, sirvió como base para la elaboración de la primera lista de chequeo oficial sobre el phylum Bryozoa en el Caribe colombiano (Montoya-Cadavid *et al.* 2007). En el 2005 el proyecto Corpoguajira evaluó la presencia de especies a 10 y 50 m en jurisdicción de La Guajira y el proyecto Marcoral permitió identificar las especies asociadas a corales de profundidad localizados



**Figura 10.** *Pasythea tulipifera*. Detalle de las cámaras de un ejemplar colectado durante la Campaña Macrofauna II (escala 100µm).

en un sector del margen continental contiguo al Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo. A mediados de 2007 se dio inicio al proyecto Especies, ensamblajes y paisajes de los bloques marinos de exploración de hidrocarburos, el cual durante sus fases I y II caracterizó la fauna presente en los bloques Tayrona, RC 4/5/6/7 y Fuerte en el Caribe colombiano entre los 200 y los 1000 m de profundidad.

## RESULTADOS

Tras más de 60 años de investigación fragmentada y partiendo del hecho de que el conocimiento de los Bryozoa constituía uno de los principales vacíos en la biodiversidad del país (Díaz y Acero 2003), el trabajo generado a partir del proyecto Macrofauna II dio un impulso renovado a la investigación del grupo en Colombia, en particular para la región Caribe. A partir del 2002, año en que se comenzó a analizar el material recolectado en ese proyecto, se han venido realizando enormes esfuerzos para inventariar la fauna de briozoos de los fondos blandos de la plataforma continental y el talud superior, dándole continuidad a la investigación a través de la inclusión del grupo como un componente de estudio durante los proyectos de este tipo que le sucedieron, lo cual a su vez permitió demostrar la presencia de estos animales en nuestros ambientes, ubicándolos en el escenario de la investigación nacional que antes no consideraba su existencia.

A continuación se describen los resultados más relevantes conseguidos durante los proyectos liderados por el Invemar con el objeto de conocer la macrofauna del Caribe colombiano, los cuales fueron ejecutados con el apoyo de diferentes entidades públicas y privadas. Específicamente se presentan los hallazgos obtenidos en las campañas de exploración Macrofauna II, Marcoral, ANH I y ANH II, por medio de las cuales fue posible recolectar briozoos en 58 estaciones ubicadas sobre los fondos blandos a lo largo del margen continental Caribe

del país (Anexo 2). De éste total de estaciones, 40 fueron muestreadas durante los proyectos Macrofauna II, ANH I y ANH II, donde se llevaron a cabo 71 arrastres de fondo entre los 20 y 800 m de profundidad; las 18 estaciones restantes se evaluaron durante el proyecto Marcoral, donde se tomaron muestras con dragas. En general los resultados de estas campañas científicas permitieron incrementar el inventario del grupo para el país, la Región Caribe y el Atlántico Occidental Tropical; además de aportar información importante en cuanto a sustratos y formas de crecimiento, la cual contribuye a una mejor comprensión de la composición y ecología de los briozoos en estos ambientes en el ámbito local.

## PRIMEROS REGISTROS

A partir del proyecto Macrofauna II fueron encontradas por primera vez para el Caribe colombiano 41 especies de briozoos (Flórez *et al.* 2007), lo que significó en ese momento un incremento del 43% en el conocimien-

to del phylum para esta área; de forma complementaria algunas de esas especies a la vez constituyeron primeros registros para el Gran Caribe y el Atlántico Occidental Tropical (Tabla 1). Se considera que otras 25 especies cuyo proceso de verificación se encuentra actualmente en curso (20 de Macrofauna I, una de Marcoral y cuatro de ANH I y II) con seguridad serán nuevos registros que engrosaran el listado de chequeo oficial (Montoya-Cadavid *et al.* 2007) e incluso algunas podrían representar nuevas especies para la ciencia. Adicionalmente los resultados permitieron ampliar de forma importante la distribución geográfica de 18 briozoos y la vertical de otros 23.

## COMPOSICIÓN Y RIQUEZA

Un total de 112 especies fueron identificadas (Anexo 1), las cuales equivalen al 41% de las estimadas para el Atlántico Occidental Tropical (Schopf 1974) y al 2% de las conocidas en el mundo. Los especímenes pertenecen

**Tabla 1.** Listado de las especies de Bryozoa registradas por primera vez para el Caribe colombiano, el Gran Caribe y el Atlántico Occidental Tropical a partir del proyecto Macrofauna II.

Área	Especies
Caribe colombiano	<i>Aetea anguina</i> , <i>Aetea ligulata</i> , <i>Electra bellula</i> , <i>Biflustra denticulata</i> , <i>Jellyella tuberculata</i> , <i>Akatopora leucocypha</i> , <i>Copidozoum tenuirostre</i> , <i>Parellisina curvirostris</i> , <i>Halophila antillea</i> , <i>Labioporella dumonti</i> , <i>Chlidonia pyriformis</i> , <i>Cellaria bassleri</i> , <i>Catenicella contei</i> , <i>Membraniporella aragoi</i> , <i>Puellina radiata</i> , <i>Pasythea tulipifera</i> , <i>Eutaleia evelinae</i> , <i>Bracebridgia subsulcata</i> , <i>Celleporaria tubulosa</i> , <i>Celleporaria sherryae</i> , <i>Parasmittina munita</i> , <i>Parasmittina bethamorphaea</i> , <i>Watersipora subtorquata</i> , <i>Schizoporella pungens</i> , <i>Gemelliporidra aculeata</i> , <i>Gemelliporidra typica</i> , <i>Trematooecia turrita</i> , <i>Tetraplaria dichotoma</i> , <i>Margaretta cereoides</i> , <i>Escharina pesanseris</i> , <i>Escharina porosa</i> , <i>Lagenicella marginata</i> , <i>Lagenicella spinulosa</i> , <i>Microporella protea</i> , <i>Petraliella bisinuata</i> , <i>Petraliella marginata</i> , <i>Crepidacantha longiseta</i> , <i>Rogicka biserialis</i> , <i>Hippoporidra edax</i> , <i>Reteporellina evelinae</i> , <i>Hippomenella fissurata</i>
Gran Caribe	<i>Copidozoum tenuirostre</i> , <i>Eutaleia evelinae</i> , <i>Rogicka biserialis</i>
Atlántico Occidental Tropical	<i>Lagenicella spinulosa</i> , <i>Chlidonia pyriformis</i>

**Tabla 2.** Relación del número de especies identificadas y no identificadas en las clases y órdenes de Bryozoa recolectados en el Caribe colombiano.

Taxón	Especies identificadas	Especies no identificadas
Gymnolaemata	79	19
Cheilostomata	74	19
Ctenostomata	5	
Stenolaemata		
Cyclostomata	5	9
<b>Total</b>	<b>84</b>	<b>28</b>

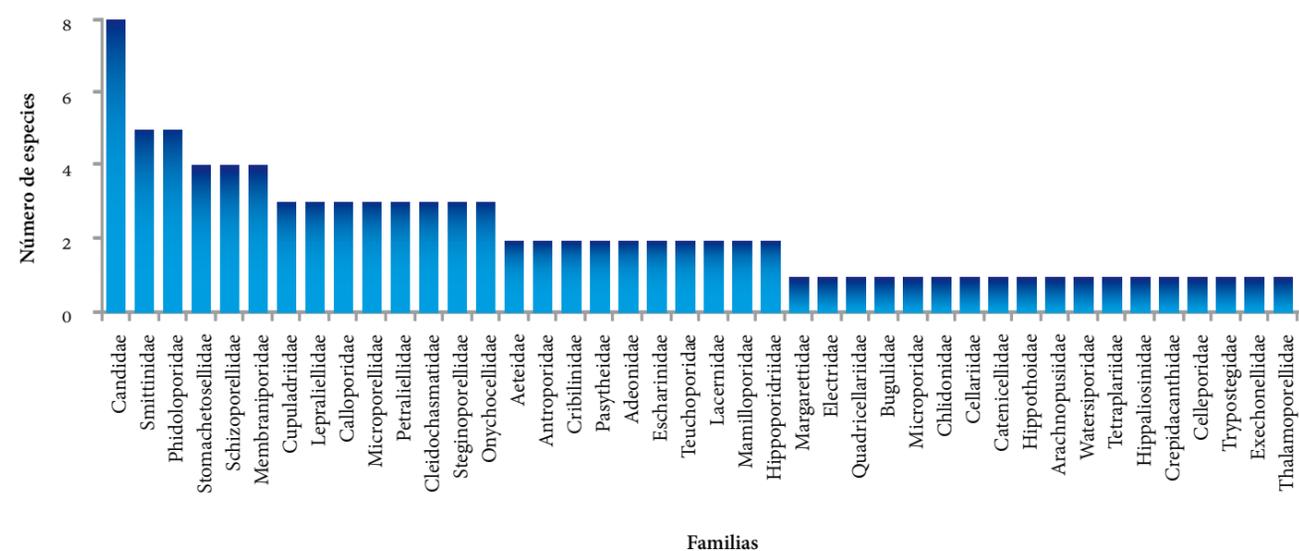
tanto a la clase Gymnolaemata como Stenolaemata y se encuentran agrupados en 77 géneros y 51 familias que hacen parte de los tres órdenes actuales (Cheilostomata, Ctenostomata y Cyclostomata). La identificación taxonómica se realizó hasta nivel de especie para el 72% de los morfotipos; hasta género para el 27%, encontrándose entre éstos varias especies que aún no han sido descritas y hasta orden para el 1% restante (Tabla 2). Las especies de cyclostomados fueron las que representaron mayores dificultades, debido a que este grupo ha sido

poco trabajado en el Caribe y por ello se cuenta con escasa información para su identificación.

La clase Gymnolaemata fue la más representativa debido a los numerosos cheilostomados encontrados durante las capturas (Figura 11), hecho que refleja la clara dominancia de ese orden en la fauna viviente de briozoos (Dick *et al.* 2009).

Los resultados para el Caribe colombiano indican que el 64% de los géneros de cheilostomados encontrados presentan campo frontal calcificado y *ascus* (Ascoforina) y el 36% campo frontal membranoso (“Anasca”). Estos valores indican la mayor diversidad de los Ascoforina en los especímenes colectados y corresponden de manera muy aproximada al estimado mundial realizado por Gordon (2009) en el que el 62% de los géneros cheilostomados son del tipo Ascoforina y el 38% “Anasca”.

Los cheilostomados estuvieron agrupados en 42 familias, entre las que se destacaron por presentar el mayor número de especies: Candidae (8), Smittinidae (5), Phidoloporidae (5), Schizoporellidae (4) y Membraniporidae (4); estos resultados concuerdan con los de otros estudios realizados en la región Caribe donde se ha encontrado que esas familias son algunas de las más comunes (Winston 1984, 1986; Fransen 1986). Las familias restantes que equivalen al 85% del total estuvieron representadas por 3 o menos especies (Figura 12).



**Figura 12.** Riqueza de especies encontradas para las familias del orden Cheilostomata en el Caribe colombiano.

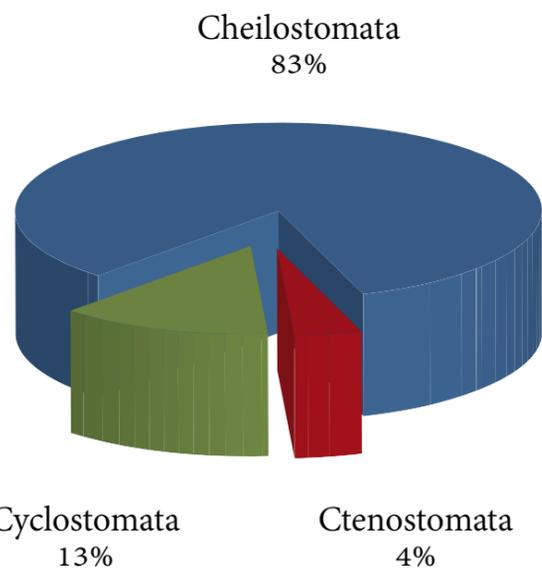
Candidae abarcó los géneros *Scrupocellaria* y *Canda*, el primero de los cuales incluyó siete de las ocho especies encontradas en la familia y constituyó a su vez el género más rico (mayor número de especies); sus especies desarrollan colonias erectas articuladas y presentan espinas de formas muy variables sobre la superficie frontal (Figura 13). El grupo es reconocido como numeroso y complejo, ya que tradicionalmente le han sido asignadas múltiples especies de formas similares que en algunos casos han generado incertidumbre taxonómica, hecho que plantea una necesaria revisión a la luz de herramientas moleculares que permita esclarecer la identidad de quienes lo conforman. Respecto al segundo género, la única especie encontrada fue *Canda simplex*, quien resultó ser la quinta más frecuente en el total de las muestras analizadas; estas colonias suelen ser abundantes y presentan crecimiento erecto flexible, con ramas hermosamente entretejidas.

Smittinidae estuvo representada únicamente por especímenes de *Parasmittina*, los cuales fueron generalmente hallados formando colonias pequeñas que crecen laminarmente sobre diferentes tipos de sustratos como

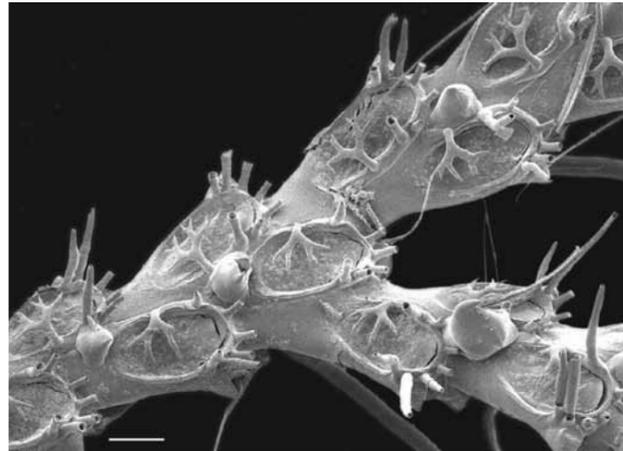
corales, trozos de madera, conglomerados de arena y esponjas; este género es uno de los más diversos y recurrentes en áreas tropicales, donde han sido registradas alrededor de 30 especies (Winston 1986, Winston y Woollacott 2009).

Phidoloporidae estuvo compuesta por los géneros *Reteporellina* y *Reteporella*, los cuales tienen en común con los demás miembros de esta familia, colonias con una característica apariencia de pequeños corales, de formas claramente distinguibles, erectas, rígidas, con ramas entrelazadas a manera de red (tipo reticulado) y en algunos casos de colores llamativos (Hayward 2000) por lo que se les conoce en algunos lugares como corales encaje (“lace corals”).

Schizoporellidae comprendió a *Schizoporella*, *Gemelliporida* y *Stylopoma*, tres géneros de frecuente aparición en los ambientes tropicales, entre los que *Stylopoma* sobresale por ser el más citado en los estudios llevados a cabo en estas áreas (Winston 1986); a los especímenes de esta familia se les encuentra colonizando superficies de todo tipo e incluso, varias de sus especies son consideradas como componentes recurrentes de la fauna



**Figura 11.** Proporción porcentual encontrada en el Caribe colombiano para cada uno de los órdenes que componen el phylum Bryozoa.

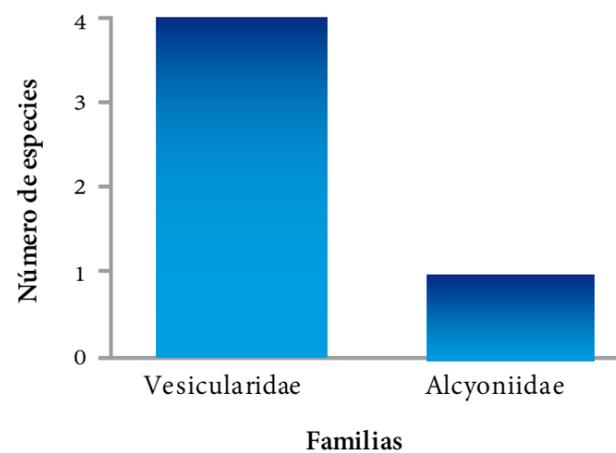


**Figura 13.** Vista frontal de la porción de una colonia de *Scrupocellaria* cf. *bertholletii* (escala 100µm).

incrustante indeseable o “fouling” y de estas, algunas son reconocidas como invasoras en diferentes áreas del mundo (Gordon y Mawatari 1992).

Finalmente, los miembros de la antigua familia Membraniporidae estuvieron compuestos por ejemplares de *Biflustra*, *Jellyella* y *Membranipora*, estos géneros son considerados de amplia distribución en los trópicos y típicos colonizadores de sustratos boyantes de libre dispersión como el plástico y algunas algas como el *Sargassum*.

Los ctenostomados representaron sólo el 4% de todos los morfotipos identificados (Figura 1). Este grupo ha sido considerado como relativamente abundante en el Mediterráneo y Atlántico Norte (Hayward 1985, Porter *et al.* 2002); en contraste, en el Atlántico Occidental Tropical (AOT) se desconoce su estatus debido a la escasez de estudios, por lo que se cuenta con muy pocos registros para el área, la mayoría de ellos obtenidos en ambientes poco profundos (Osburn 1940; Marcus 1955; Winston 1982, 1984; Winston y Håkansson 1986; Winston y Maturo 2009). La familia Vesiculariidae fue la más representativa con cuatro especies (Figura 14): *Amathia distans*, *Amathia vidovici*, *Zoobotryon verticillatum* y *Bowerbankia* cf. *maxima*. En relación a las tres prime-



**Figura 14.** Número de especies de las familias del orden Ctenostomata encontradas en el Caribe colombiano.

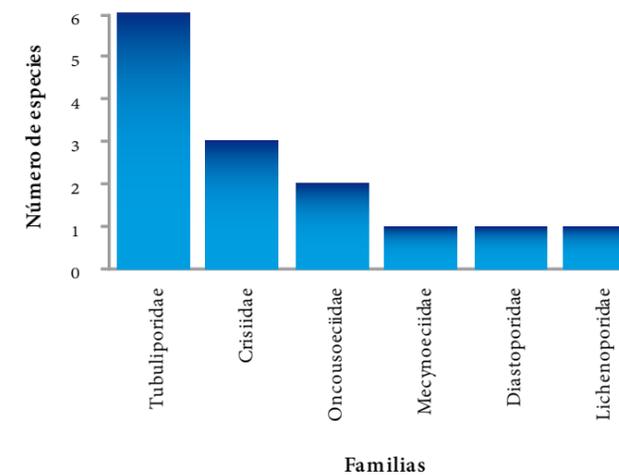
ras, cabe resaltar el hecho de que son algunos de los ctenostomados más comunes en los estudios realizados en el AOT (Osburn 1940; Winston 1982, 1986).

*Amathia* es un género cosmopólita de interés en la bioprospección, debido a que posee unos metabolitos secundarios denominados amatinas, los cuales han sido estudiados con interés en Nueva Zelanda por ser potencialmente útiles en la industria farmacéutica. Es importante mencionar que *A. distans* ha sido registrada por diferentes autores como una especie que habita fondos someros por encima de los 11 m (Osburn 1940; Winston 1982, 1984, 1986); sin embargo en las campañas del Caribe colombiano fue encontrada hasta los 145 m de profundidad, ampliando de forma considerable su ámbito de distribución vertical para la Región Caribe. En cuanto a *A. vidovici* los resultados permitieron igualmente ampliar su distribución con respecto a la hallada previamente para La Guajira (Osburn 1947). Las otras dos especies, *Bowerbankia* cf. *maxima* y *Zoobotryon* cf. *verticillatum* representan primeros registros para el Caribe colombiano. La familia Alcyoniidae estuvo representada únicamente por la especie *Alcyonidium* cf. *capronae* la cual fue encontrada incrustando una colonia viva del briozoo *Discoporella depressa*, algo semejante a lo observado en la Florida donde ha sido hallada coloni-

zando a *Cupuladria doma* (Winston y Håkansson 1986) lo que podría indicar algún tipo de preferencia por las colonias lunulitiformes (cónicas).

La relativa escasez de ctenostomados en el material analizado es explicada parcialmente por las características físicas de las colonias y las técnicas de recolecta empleadas en las campañas de exploración, ya que durante los arrastres y dragados tanto el sedimento como los demás organismos pueden comprimir fuertemente a las delicadas colonias, fragmentándolas o destruyéndolas totalmente. La falta de calcificación de este grupo exige cuidados especiales durante la captura, manejo y preservación de los animales, los cuales son difíciles de implementar en muestreos de arrastre (Hayward 1985). Los Ctenostomata son un grupo muy interesante y con gran información acerca de la evolución de los Bryozoa, pues se cree que existen desde el Precámbrico, pero debido a la carencia de registro fósil son muy pocas las evidencia físicas disponibles acerca de su historia (Carmacho 1966).

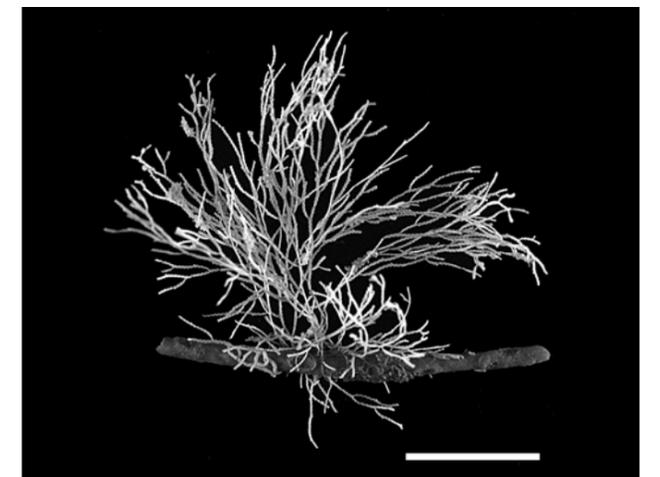
La clase Stenolaemata estuvo representada por Cyclostomata, el único orden viviente; éstos sobrevivieron a las extinciones del período Pérmico ocurridas hace 251 Ma y tuvieron su mayor esplendor en términos de di-



**Figura 15.** Riqueza encontrada para las familias del orden Cyclostomata en el Caribe colombiano.

versidad durante el Jurásico medio (175-161 Ma); luego durante la gran extinción del Cretácico tardío (65 Ma) decayeron numéricamente, lo que coincidió con la expansión contemporánea de los Cheilostomata (McKinney 1993). A los cyclostomados pertenecen el 13% del total de morfotipos encontrados durante las expediciones (Figura 1); su baja diversidad en comparación con los briozoos cheilostomados es reconocida, de hecho, constituyen en promedio sólo el 12% de la fauna de briozoos actual y el 20% de las especies registradas para el Caribe (Taylor 2001). Las familias halladas con mayor número de especies fueron Tubuliporidae y Crisiidae con 40% y 27% respectivamente (Figura 15).

Los morfotipos pertenecientes a Tubuliporidae aún continúan siendo analizados, pues requieren de una serie de análisis comparativos y microestructurales complementarios que permitan verificar la identidad de las especies. Crisiidae estuvo representada por los géneros *Crisia* y *Crisiella*; esta familia ha sido reconocida como uno de los componentes más comunes en los estudios de la fauna de briozoos en el mundo (Lagajj 1963, Banta 1977, Winston 1982, Soule *et al.* 1995). *Crisia* es uno de los típicos constituyentes de los “tapetes zoofíticos”, los cuales albergan una amplia variedad de animales filtradores como hidroides, ascidias y esponjas entre



**Figura 16.** *Crisia denticulata* uno de los cyclostomados más característicos encontrados en el Caribe colombiano. Escala 1 cm.

otros (Hayward y Ryland 1985); dentro de éste grupo se identificaron las especies *C. denticulata* (Figura 16) y *Crisia* sp., cuyas colonias fueron relativamente abundantes en las estaciones donde se recolectaron; los especímenes fueron observados sobrecreciendo esponjas, algas pardas, octocorales y madera. La mayoría de los cyclostomados hallados se encontraron compartiendo sustrato con diferentes especies de cheilostomados, lo cual ha sido registrado en otros estudios como una competencia por espacio donde los cheilostomados son claramente dominantes. Al parecer los Cyclostomata son menos eficientes que Cheilostomata en la captura y utilización de la energía, debido a que tienen autozooides más pequeños, con menor volumen de tejidos blandos por unidad de área de la colonia, sus cilios generan

corrientes más lentas durante la alimentación, presentan tasas inferiores de crecimiento y pocas poliformas (Clarkson 1993, Taylor 2000).

## DISTRIBUCIÓN

Los resultados de las expediciones analizadas estuvieron determinados por los métodos de recolecta empleados, en especial por los arrastres sobre fondos blandos, ya que el 96% de las estaciones donde se obtuvo información fueron evaluadas por este método; lo que implica que las capturas correspondieron principalmente a material susceptible de ser recolectado por la red, es decir, especies que se encontraban asentadas directamente sobre los sedimentos o sobre sustratos fácilmente

arrastrables, por lo que otras superficies firmemente cementadas al suelo oceánico podrían haber sido subestimadas. En consecuencia, los análisis de distribución describen de forma general las tendencias encontradas en una escala espacial amplia, a partir de evidencias útiles para la comprensión general del grupo en el ámbito local. Los briozoos presentes en las áreas evaluadas a lo largo del Caribe continental colombiano mostraron una tendencia a decrecer en número de especies en sentido norte - sur, siendo predominantes en las estaciones ubicadas frente a los departamentos de La Guajira, Magdalena y Atlántico (Figura 17).

Los resultados mostraron que la disponibilidad de sustratos colonizables es determinante para la presencia y diversidad de briozoos en las localidades evaluadas; pues en las estaciones donde se hallaron las riquezas más altas, las especies se encontraban asociadas a una mayor variedad de sustratos firmes como corales duros, esponjas, algas, hidroides, ascidias, octocorales, pequeños agregados de arena, trozos de madera e incluso plástico; por el contrario, un menor número de especies fue obtenido en las localidades donde se hallaron sustratos menos heterogéneos. Adicionalmente se encontró que características propias de cada lugar, en particular el tipo de depósitos del fondo y el mayor o menor grado de sedimentación producto del aporte de aguas continentales y la dinámica hidrológica, son factores que también podrían influir en la distribución de los animales. Evidencia de ello podrían ser los resultados observados en las localidades ubicadas a partir del sur del departamento de Bolívar, donde existe una mayor influencia sobre la plataforma de aportes continentales por parte de ríos y ciénagas (Ciénaga de la Virgen, Canal del Dique, ríos Sinú y San Juan), lo que a su vez contribuye a que en general los fondos de esa área estén conformados por sedimentos terrígenos finos; factores que sumados a la poca variedad de sustratos hallados en esas localidades se reflejaron en una menor presencia y diversidad de especies. Para que los briozoos puedan habitar en áreas con características de este tipo, es vital que los sustratos disponibles brinden espacios crípticos

donde los organismos puedan establecerse y refugiarse de la sedimentación (Schopf 1969), de lo contrario predominarán sólo unas pocas especies con la capacidad de adaptarse a esas condiciones.

Al analizar la distribución vertical se encontró que la franja explorada de la plataforma continental comprendida entre los 20 y 200 m concentró la mayoría de especies, ya que se obtuvieron briozoos en 45 estaciones que equivalen al 78% de las muestreadas en total. La mayor riqueza se obtuvo entre los 20 y 70 m de profundidad (Figura 18), indicando a que las especies halladas son básicamente someras, algo predecible de acuerdo con los patrones de distribución establecidos alrededor del mundo, que han demostrado una mayor frecuencia de éstos organismos entre los 20 y 80 m. En dicho rango donde se pueden encontrar un máximo de hasta 100 especies por estación según los análisis de distribución realizados por Schopf (1969), quien en parte explica este hecho por la abundante disponibilidad de fitoplancton, principal fuente de alimento para estos animales en la zona fótica. En general dentro de esta franja se encontraron un total de 80 cheilostomados, 14 cyclostomados y cinco ctenostomados. Las especies más frecuentes fueron *Discoporella depressa* con un 48% de aparición, seguida por *Cupuladria surinamensis* (41%) y *Gemelliporina glabra* (35%).

Tres estaciones sobresalieron por su riqueza; en primer lugar E134-135, ubicada al sur de Bocas de Ceni-

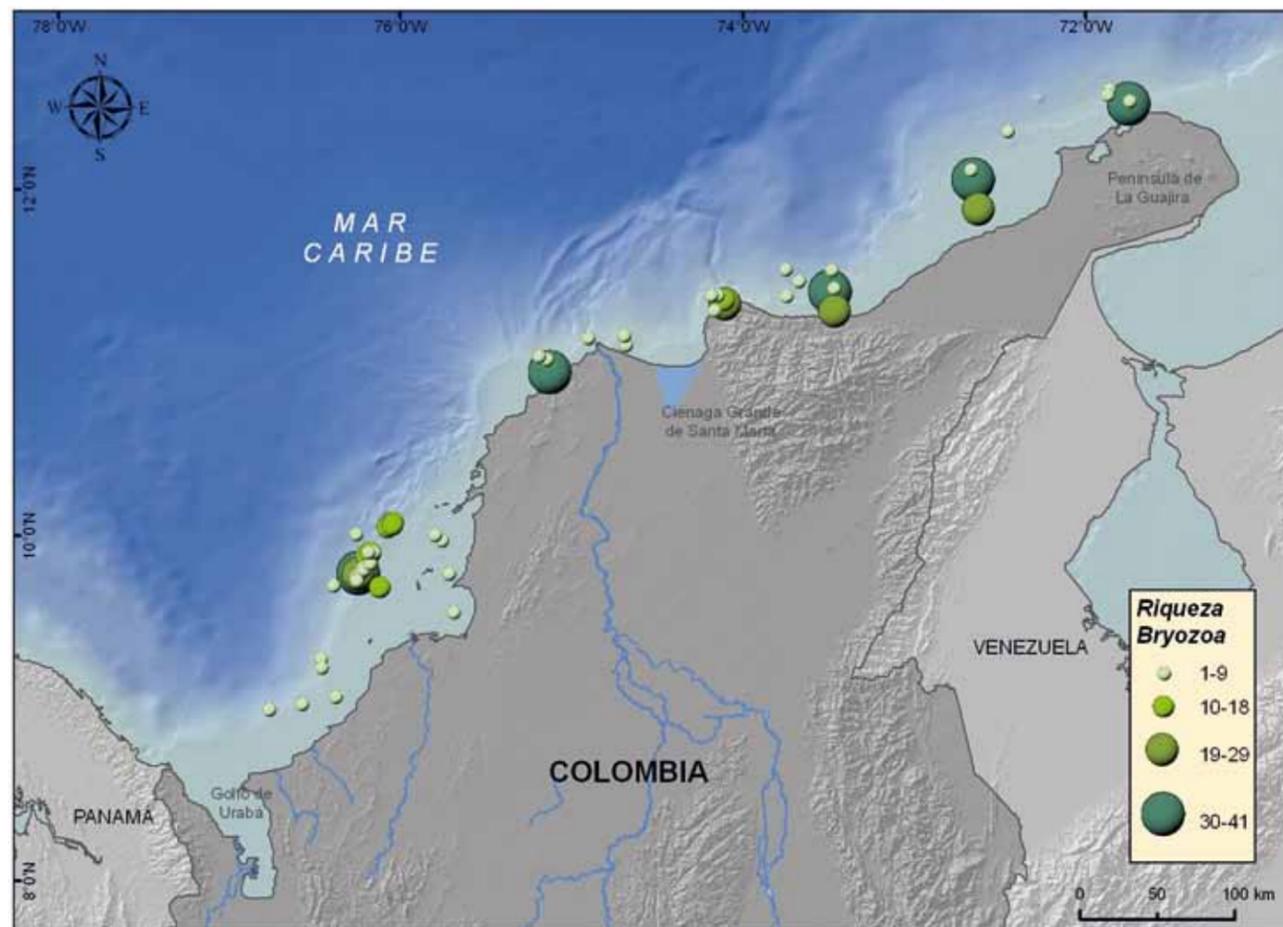


Figura 17. Distribución de la riqueza de briozoos presentes en los fondos blandos del Caribe colombiano.

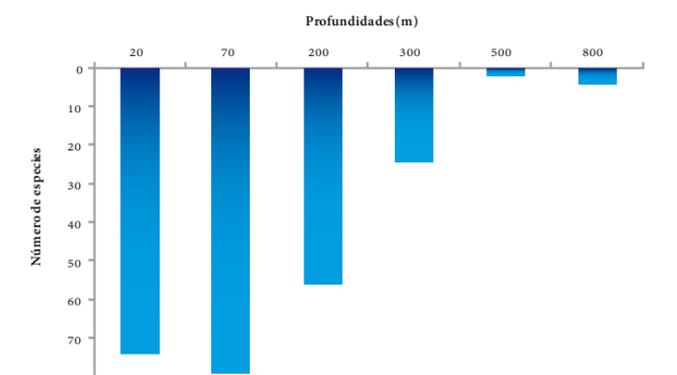
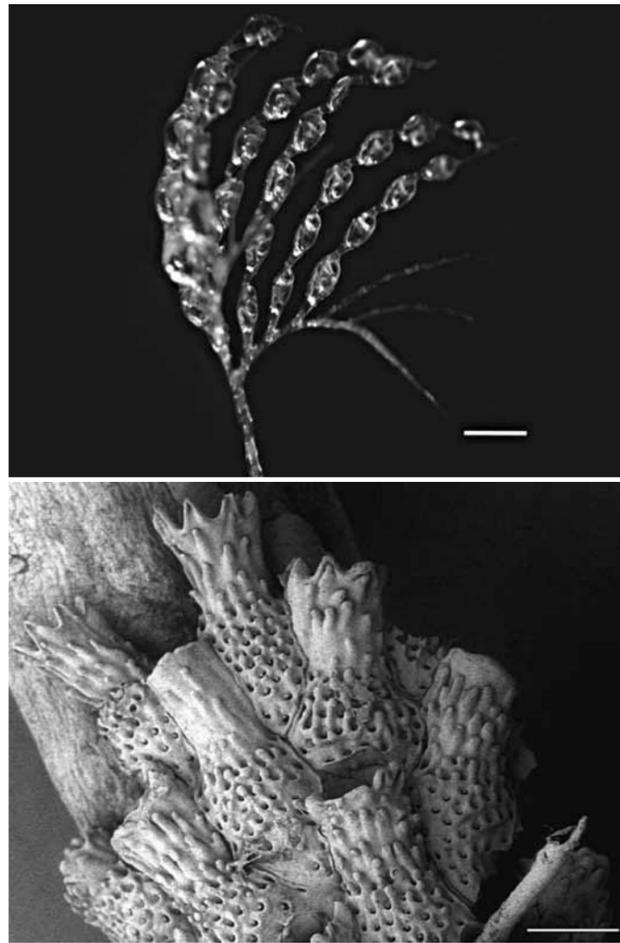


Figura 18. Riqueza de briozoos encontrada en las diferentes profundidades muestreadas en el Caribe colombiano.

za ( $10^{\circ}56'36''$  N,  $75^{\circ}06'29''$  O) a 20 m de profundidad, caracterizada por presentar fondos duros, arenosos y coralinos, además de una gran variedad de sustratos orgánicos y artificiales (p.ej. plástico), a los cuales se encontraron asociadas 41 especies, entre las que cabe destacar a *Chlidonia pyriformis*, *Eutaleia evelinae* y *Lagenicella spinulosa* las cuales fueron registradas por primera vez para la Región Caribe (Flórez *et al.* 2007) (Figura 19). Las otras dos estaciones fueron E87-88 ( $12^{\circ}29'45''$  N,  $71^{\circ}43'40''$  O) y E102-103 ( $11^{\circ}24'23''$  N,  $73^{\circ}28'18''$  O), ambas localizadas a 70 m de profundidad frente al departamento de La Guajira; en ellas se encontró evidencia de la existencia de bajos coralinos profundos (Reyes *et*



**Figura 19.** Primeros registros para la región Caribe. Arriba: *Chlidonia pyriformis* (escala 0,5 mm). Abajo: *Lagenicella spinulosa* (escala 200µm).

*al.* 2005) donde el coral azooxantelado *Cladocora debilis*, esponjas y octocorales constituyeron los principales sustratos para los 54 briozoarios encontrados (44 cheilostomados, ocho cyclostomados y dos ctenostomados). La mayoría de las colonias fueron de tipo incrustante laminar (59%), aunque se observó un porcentaje importante de especímenes de crecimiento erecto (37%), lo cual indica una fuerte competencia por los sustratos disponibles, donde las colonias que tienen la capacidad de crecer erguidas aprovechan al máximo los espacios libres, estableciéndose en ellos e incrementando el área de ocupación en el plano vertical.

Para el talud superior entre los 300 y 800 m se encontraron un total de 28 especies en 13 estaciones (Figura 18), 11 de ellas recolectadas mediante arrastres de fondo y dos con dragas. La mayoría de los briozoos se obtuvieron en la franja de los 300 m (86%) y todas las especies correspondieron a cheilostomados, lo cual está acorde con lo observado en otros estudios donde se ha evidenciado que no es frecuente hallar cyclostomados por debajo de los 100 m (Ryland 1985), aunque para el Atlántico Occidental Tropical se conocen algunos registros a 341 m (Ramalho *et al.* 2009); tampoco los ctenostomados son registrados comúnmente en estudios de profundidad, sin embargo se ha documentado la presencia de una variedad de especies extrañas altamente especializadas que habitan por debajo de los 1500 m en el Atlántico Norte (Hayward 1981).

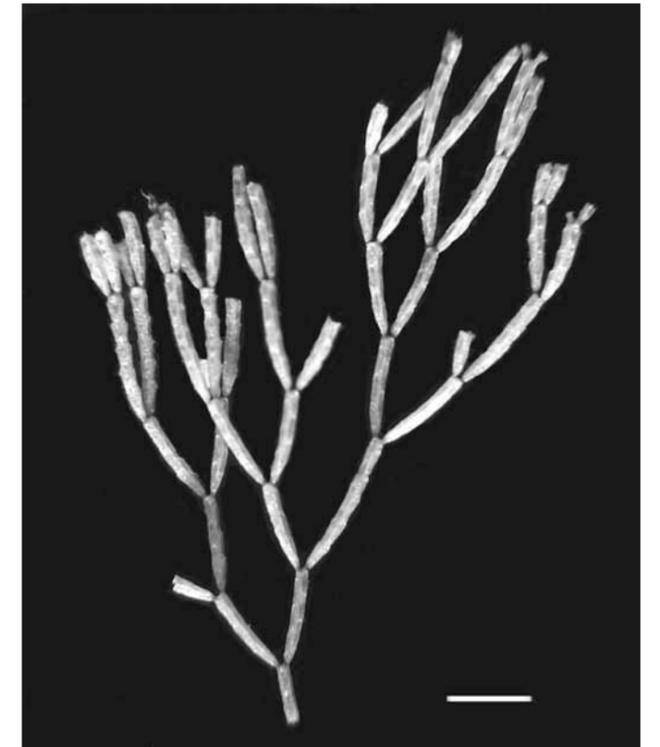
Dos localidades se destacaron por presentar mayor riqueza, en primera instancia la estación EA256-257 ubicada a 300 m frente al Cabo de la Vela ( $12^{\circ}20'6''$  N,  $72^{\circ}27'4''$  O) con un total de ocho especies: *Microporella* aff. *umbracula*, *Gemelliporida aculeata*, *Puellina radiata*, *Micropora* aff. *acuminata*, *Parellisina* sp., *Antropora* sp., *Nellia tenella* y *Cupuladria surinamensis*; la mayoría de las cuales forman colonias incrustantes que crecen laminarmente para apropiarse rápidamente del espacio disponible. La cifra total de especies observadas es muy aproximada al máximo de 10 especies por estación que

según Schopf (1969) se puede esperar obtener en profundidades por debajo de los 200 m. La segunda estación más rica fue la E153-154 con un total de seis especies, esta se localiza sobre depósitos coralinos a 300 m frente al Archipiélago de Corales del Rosario y San Bernardo ( $9^{\circ}45'37''$  N,  $76^{\circ}15'19''$  O). Las especies con mayor frecuencia de aparición en el talud superior fueron *Nellia tenella* con un 31% y *Discoporella depressa* con 23%. Por otra parte, cabe destacar a *Micropora* aff. *acuminata*, *Microporella* aff. *umbracula* *Thalamoporella* sp., *Celleporella* sp. y *Parellisina* sp. ya que probablemente representan nuevos registros para el Caribe colombiano y eventualmente algunos podrían ser nuevos para la ciencia; dichas especies se encuentran actualmente en proceso de confirmación.

Los briozoos encontrados más frecuentes tanto para los fondos de la plataforma continental como del talud superior del Caribe continental colombiano fueron *Discoporella depressa*, *Cupuladria surinamensis* y *Nellia tenella* (Figura 20). Las dos primeras son especies de vida libre (no viven fijas a un sustrato) conocidas como de tipo lunulitifforme por su forma cónica, la cual les ha permitido adaptarse a las condiciones de alta sedimentación imperantes en los fondos blandos y sustratos inestables de la plataforma y el talud en áreas tropicales. Estos organismos presentan vibráculos largos en forma de cerda que les permiten virtualmente caminar sobre el sustrato, sacudir el sedimento excesivo que se deposita sobre su superficie y además les sirven como herramienta defensiva contra el asentamiento de otros organismos (Cook y Chimonides 1983; Winston y Håkansson 1986). Ambas especies fueron también muy abundantes en las muestras, hallándose un total de 567 colonias de *D. depressa* y 657 de *C. surinamensis*; los registros permitieron ampliar la distribución de profundidad conocida localmente para *D. depressa* desde los 68 m (Osburn 1947) hasta 500 m y para *C. surinamensis* desde 41 m (Osburn 1947) hasta 300 m. *N. tenella* la tercera especie más frecuente, tiene amplia distribución y se caracteriza por desarrollar colonias erectas

articuladas, de tipo arbustivo, que tienen la capacidad de adherirse a partículas muy finas por medio de unas estructuras a manera de raíces denominadas radículas, por lo cual es común encontrarla también en ambientes profundos; los resultados obtenidos indicaron un notable incremento en su rango de distribución desde los 39 m (Osburn 1947) hasta los 774 m.

La fauna de briozoos encontrada en el Caribe colombia-



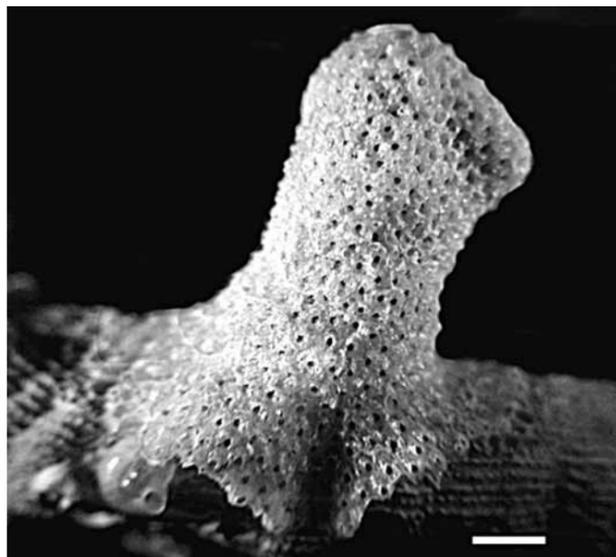
**Figura 20.** *Nellia tenella* una de las especies más frecuentes en el margen continental colombiano. Escala 1 cm.

no se encuentra distribuida en un 50% en el Atlántico Occidental Tropical - Golfo de México - Caribe, mientras un 21% es de tipo circuntropical y sólo un 2% se extiende al Pacífico Oriental. Algunos de los briozoarios considerados cosmopolitas hacen parte de complejos o agrupaciones de especies que con mayores estudios podrían revelar nuevas hallazgos para la ciencia, los cuales hasta ahora podrían haber pasado inadvertidos.

## SUSTRATOS

En general se encontró una menor cantidad de especies en los ambientes de fondos blandos profundos, lo cual se debe en parte a que normalmente los sedimentos de esas áreas son más finos que los de la plataforma y ofrecen por lo tanto menor posibilidad de anclaje, por lo que probablemente las larvas deban buscar partículas diferentes a los sedimentos para establecerse, tales como fragmentos de corales, conchas, foraminíferos, pterópodos y rocas, entre otros; ya que la larva necesita una superficie de su tamaño o un poco mayor (0,1-0,3 mm de diámetro) para poder establecerse y crecer (Schopf 1969, Clarkson 1993, Winston y Migotto 2005). Para un organismo bentónico el espacio que ocupa es determinante pues condiciona en gran medida las actividades vitales que éste desarrolla; dicho espacio tiene una historia local que involucra la temperatura, turbulencia, disponibilidad de sustratos colonizables, abundancia de nuevos reclutas y factores ecológicos como depredación y competencia (Cook 1985). En el caso de los briozoos, la textura del sustrato es la característica que determina principalmente las condiciones para el asentamiento de larvas y el crecimiento de la colonia, ejerciendo la función de control ambiental en la distribución (Ryland 1967, Winston 1982, Hayward y Ryland 1998).

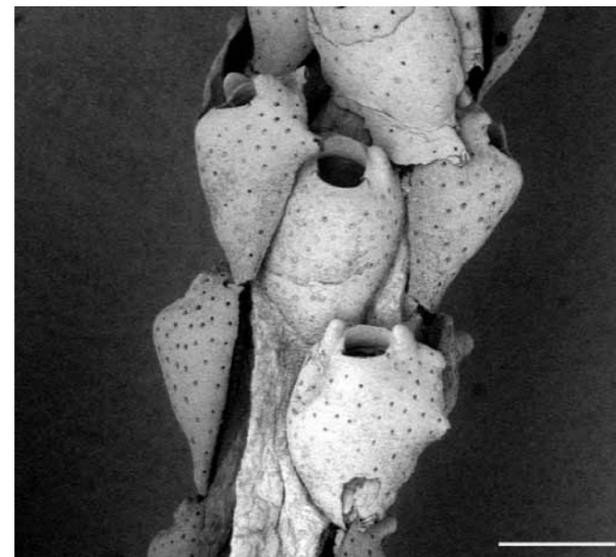
Entre los múltiples sustratos colonizados por los briozoos a lo largo del Caribe colombiano se encontró que los corales y las algas fueron los más frecuentes y con mayor número de especies asociadas. Los corales sirvieron de sustrato a 42 briozoos, de los cuales el 55% colonizaron al coral azooxantelado *Cladocora debilis*, 11 estaban sobre octocorales, dos en gorgonáceos y seis sobre otros scleractinios (Figura 21). Probablemente la mayor ocupación por parte de las especies sobre *C. debilis* fue facilitada por sus características físicas, pues este coral tubular tiene los cálices en los extremos y presenta libre la porción que se encuentra en medio de los mismos (coenosteum). Dicha superficie fue ideal para



**Figura 21.** *Stephanollona asper* colonizando una porción del coral *Cladocora debilis*. Escala 1 cm.

el establecimiento de especies con crecimiento laminar, probablemente debido a que estas tienen la capacidad de ocupar el espacio disponible de una forma más rápida garantizando así la supervivencia de la colonia (Winston y Jackson 1984). Las numerosas especies que se hallaron asociadas a corales indican que este tipo de sustrato es importante para el establecimiento de briozoos y permiten suponer que en los ambientes arrecifales del país podría haber una presencia importante de estos animales que requiere ser evaluada.

El segundo sustrato más frecuente fueron las algas pardas (Phaeophytas) con un 18% de especies asociadas (Figura 22). Éstas suelen ser una de las superficies más comunes para briozoos en los ambientes costeros, hecho que se relaciona con las características físicas (forma y tamaño), químicas y de textura superficial típicas de algas pardas y rojas, que según Winston y Eiseman (1980) las hacen un sustrato más apropiado con respecto a otros para soportar la presencia de estos organismos. Respecto a este sustrato se encontraron tres grupos de especies colonizadoras: al primer grupo pertenecen *Jellyella tuberculata* y *Membranipora tenuis*, especies limitadas a sustratos de algas, colonizadoras



**Figura 22.** *Eutaleia evelinae* colonizando sobre un alga parda (escala 200µm).

casi exclusivas de *Sargassum*; en el segundo se ubicaron *Aetea anguina*, *Aetea ligulata*, *Electra bellula* y *Amathia distans*, especies con una fuerte preferencia por las algas, pero que no son exclusivas de una específica y eventualmente colonizan otros sustratos; finalmente están las especies más comunes dentro de las colonizadoras de este sustrato, aquellas que son típicas de otras superficies y que ocasionalmente se encuentran sobre algas, entre ellas cabe mencionar a *Hippothoa flagellum*, *Pasythea tulipifera*, *Crepidacantha longiseta*, *Lagenicella spinulosa* y *Crisia denticulata*.

## ALCANCES, VACÍOS DE INFORMACIÓN Y PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN

En Colombia la investigación de los Bryozoa durante los últimos ocho años permitió avanzar considerablemente en el conocimiento taxonómico, poniendo en evidencia la inesperada riqueza epibentónica del grupo en los ambientes muestreados, principalmente en los fondos blandos de la plataforma y el talud superior donde se han concentrado los estudios. Los múltiples esfuerzos realizados para solventar el problema de fal-

ta de información, han permitido que a partir del 2006 con aportes de diferentes proyectos se haya adquirido y puesto a disposición pública numerosa bibliografía especializada, la cual puede ser libremente consultada en el Centro de documentación del Invemar. Cabe destacar entre estos proyectos el realizado en el marco de las becas ABC para el conocimiento de la biodiversidad de Colombia desarrollado por el Invemar en convenio con el Instituto Humboldt, donde se obtuvo el 70% de la información del grupo hoy disponible en dicha biblioteca. Igualmente se han establecido numerosos contactos con expertos internacionales que han apoyado el trabajo de varios investigadores, lo cual también ha puesto al país en el escenario de investigación del grupo en la Región Caribe y el mundo.

El panorama de estudio de los briozoos en el país es muy amplio, pues prácticamente todos los frentes se encuentran por explorar, ya que se desconocen los aspectos biológicos, ecológicos y evolutivos de las especies; así como la historia fósil, biogeografía, paleoecología, impactos ambientales, presencia de especies exóticas e invasoras y las posibles aplicaciones a nivel local en la farmacología, acuarística y producción industrial, entre otros. Cualquier avance en alguno de estos campos seguramente representaría nueva información incluso a nivel global. Hasta ahora en el país los trabajos desarrollados han sido de carácter taxonómico y aún son insuficientes, pues actualmente las especies identificadas en el Caribe colombiano corresponden al 40% de las 275 estimadas para el Caribe hace más de 35 años por Schopf (1974) y es acertado decir, que probablemente el porcentaje sea menor si se tiene en cuenta que desde entonces muchas especies nuevas se han descrito para el área. Esto sugiere que hay una gran probabilidad de incrementar el conocimiento en el mediano plazo conforme se vayan desarrollando nuevos estudios. Sólo para ejemplificar el potencial de diversidad de briozoos que se puede hallar, basta con revisar los resultados obtenidos por el inventario de fauna del Golfo de México que asciende a 276 especies identificadas (Winston y Maturo 2009).

Paralelamente a la incursión en nuevos campos de interés, es importante iniciar el inventario de la fauna asociada a otros ecosistemas donde se presume la presencia de estos organismos. De hecho, si se tienen en cuenta los resultados respecto a la riqueza asociada a los sustratos obtenidos durante las campañas analizadas, es posible suponer que una buena parte de los esfuerzos futuros deberán ser dirigidos a la investigación en áreas arrecifales, así como también a otros ambientes como litorales y zonas de manglar. Igualmente será importante seguir complementando el trabajo en los ambientes profundos, pues estos representan gran interés para las actividades productivas del país planteadas en los planes estratégicos nacionales y será necesario adquirir todo el conocimiento posible sobre los recursos allí presentes en pro de su uso racional y sostenible. Para ello, será necesario seguir promoviendo espacios e iniciativas que involucren a las entidades tanto públicas como privadas en el proceso de exploración de estas áreas, lo cual requiere de esfuerzos enormes en términos tecnológicos, científicos y financieros. Este tipo de alianzas para ampliar el conocimiento de la biodiversidad marina del país son viables y efectivas, tal como quedó demostrado a través de los convenios de Invemar con la Agencia Nacional de Hidrocarburos durante la planeación y ejecución de los proyectos ANH I y ANH II. Por otra parte, es importante iniciar estudios relacionados con especies exóticas e invasoras, pues los briozoos son uno de los principales grupos de fauna incrustante indeseada (fouling) y por sus características muchas de las especies tienen la capacidad de transportarse en embarcaciones y sustratos boyantes. El país cuenta con numerosos puertos en ambas costas y esto lo hace susceptible al arribo de organismos de este tipo, por lo que es necesario en primera instancia la realización de estudios de aguas de lastre y la implementación de estudios de línea base portuaria que permitan detectar la presencia de especies de briozoos no nativas.

Otro aspecto fundamental para darle continuidad a los estudios tiene que ver con el incremento y fortalecimiento

de la capacidad técnica en el ejercicio taxonómico. Se requiere de la implementación de técnicas moleculares y de mayores facilidades para la obtención de fotografías de microscopía electrónica, herramientas claves en el trabajo de identificación de los briozoos. Asimismo es importante incentivar el trabajo taxonómico, ya que es de amplio conocimiento que en el mundo cada vez son menos los investigadores que se dedican a esta disciplina (Winston 1999); Colombia no es ajena a este fenómeno, como prueba de ello se conocen muy pocos investigadores que se dedican a los briozoos y no hay en el momento estudiantes en formación. Gran parte del problema radica en la poca disponibilidad de fondos para desarrollar proyectos taxonómicos, lo que induce a los taxónomos a emplearse en otro tipo de investigaciones que no les permiten dedicar el tiempo que exige esta actividad, quedando reducida a los pocos espacios que por pasión propia pueda el investigador dedicar. A pesar del relativo auge en las investigaciones de biodiversidad que se dio en el ámbito nacional a partir de 1995 (Ardila *et al.* 2006), se observa que actualmente los taxónomos en el país son una especie en peligro de extinción (Díaz y Acero 2003); el problema ha sido identificado desde hace varios años y es claro que para solventarlo se requiere darle prioridad y continuar financiando las propuestas taxonómicas, pues en el caso de Colombia el conocimiento de la biodiversidad marina es aún muy incipiente y ello representa un gran riesgo para su aprovechamiento y protección.

## CONCLUSIÓN

Los briozoos son organismos frecuentes y diversos en los fondos de la plataforma y el talud superior del Caribe colombiano, su distribución está condicionada por la disponibilidad de sustratos duros y las características físicas de cada lugar, en especial el tamaño de las partículas del fondo y el nivel de sedimentación. La fauna hallada durante las campañas Macrofauna II, Marcoal, ANH I y ANH II es principalmente de tipo somero

encontrándose a la mayoría de especies entre los 20 y 70 m. Las investigaciones realizadas entre 2002 y 2010 permitieron incrementar considerablemente el conocimiento del phylum en el país y en los años venideros deberá continuar proyectándose a otros ambientes, en procura de complementar el inventario nacional y de aportar nuevos elementos que permitan ahondar en su comprensión en diferentes áreas, fortaleciendo la capacidad nacional y regional para su investigación.

## AGRADECIMIENTOS

Nuestra gratitud y reconocimiento a todas aquellas personas e instituciones que estuvieron al frente de la planeación y ejecución de los diferentes proyectos para la exploración de la plataforma y el talud del Caribe colombiano entre 2001 y 2010. De manera muy especial deseamos agradecer a Judith Winston (Museo de Virginia) y Dennis Gordon (NIWA-NZ) quienes desde su experiencia han orientado e inspirado nuestro trabajo con el grupo. De igual modo a Biodiversity Synthesis Center (BIOSYNC), Encyclopedia of Life (EoL) y The Field Museum por la financiación de la reunión "Planning Bryozoa, a unified bryozoan reference on the web" donde se fortalecieron lazos de cooperación con investigadores expertos e instituciones. Asimismo al equipo humano del Museo de Historia Natural Marina de Colombia quienes han hecho de éste una escuela de aprendizaje permanente. Agradecemos también a Matthew Dick y Laís Vieira Ramalho quienes amablemente nos facilitaron algunas de sus imágenes. Finalmente nuestro más sincero agradecimiento a Amalia Herrera Cubilla (STRI), Laís Vieira Ramalho (Museo de Rio de Janeiro) y Gabriel R. Navas (Universidad de Cartagena) quienes aportaron valiosos comentarios para la mejora de este documento. Este trabajo recopila resultados obtenidos durante los proyectos financiados por Colciencias (códigos 210509-10401, 210509-11248, 2115-09-16649), Invemar-Fonade (contrato 001065 de 2000), Invemar-IAvH (Convenio cooperación técnica 40 de 2004) e Invemar-ANH (Convenio 008 de 2007 y 2008).

## REFERENCIAS

- Ardila N.E., J.O. Reyes, N. Santodomingo y N. Cruz. 2006. Estado actual del conocimiento de los invertebrados marinos de Colombia. Tomo II, 240-256. En: Chávez M.E. y M. Santamaría (Eds.), Informe sobre el avance en el conocimiento y la información de la biodiversidad 1998-2004. Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá.
- Banta W. y R. Carson. 1977. Bryozoa from Costa Rica. *Pacific Science*, 31(4):381-424.
- Battershill C., D. Gordon y E. Abraham. 1998. Benthos: a data-logger of marine environmental health, 79-89. En: Wallace C., B. Weeber y S. Buchanan (Eds.), Marine Ecosystem management: obligations and opportunities. Environment and Conservation Organizations of New Zealand, Wellington.
- Bijma J. y G.J. Boekschoten. 1985. Recent bryozoan reefs and stromatolites development in brackish inland lakes, SW Netherlands. *Senckenbergiana maritima*, 17(1/3):163-185.
- Boardman R.S. 1998. Reflections on the morphology, anatomy, evolution and classification of the Class Stenolaemata (Bryozoa). *Smithsonian Contributions to Paleobiology*, 86:1-60.
- Boardman R.S., F.K. McKinney y P.D. Taylor. 1992. Morphology, anatomy and systematics of the Cinctiporidae, new family (Bryozoa-Stenolaemata). *Smithsonian Contributions to Paleobiology*, 70:1-81.
- Bone Y. y R.E. Wass. 1990. Sub-recent bryozoan-serpulid build-ups in the Coorong lagoon, South Australia. *Australia Journal of Earth Science*, 37:207-214.
- Borg F. 1944. The stenolaematous Bryozoa, 276 p. En: Bock S. (Ed.), Further Zoological Results of the Swedish Antarctic Expedition 1901-1903, vol. III. Norstedt and Söner, Stockholm.
- Bradstock M. y D. Gordon. 1983. Coral-like bryozoan growths in Tasman Bay, and their protection to conserve commercial fish stocks. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 17:159-163.
- Camacho H. 1966. Invertebrados fósiles. Editorial Universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires, 707 p.
- Canu F. y R.S. Bassler. 1928. Fossil and Recent Bryozoa of the Gulf of Mexico region. *Proceedings of the United States National Museum*, 72:1-199.
- Clarkson E.N. 1993. Invertebrate palaeontology and evolution. Blackwell Science, Oxford, London, 452 p.
- Cocito S. 2004. Bioconstruction and Biodiversity: their mutual influence. *Scientia Marina*, 68(1):137-144.

- Cook P.L. 1985. Bryozoan from Ghana a preliminary survey. *Zoologische Wetenschappen-Annales-Sciences zoologiques*, 238:1-307.
- Cook P.L. y P.J. Chimonides. 1983. A short history of the lunulite Bryozoa. *Bulletin of Marine Science*, 33:566-579.
- Cuffey R.J., S.S. Fonda, D.F. Kosich, C.D. Gebelein, D.M. Bliefnick y L.G. Soroka. 1977. Modern Tidal-Channel Bryozoan Reefs of Joulter's Cay (Bahamas). *Proceedings of 3th International Coral Reef Symposium, Rosentiel School Marine and Atmospheric Science, Miami*, 2:339-345.
- Díaz J.M. y A. Acero. 2003. Marine biodiversity in Colombia: Achievements, status of knowledge and challenges. *Gayana*, 67(2):261-274.
- Dick M.H., S. Lidgard, D.P. Gordon y S.F. Mawatari. 2009. The origin of ascophoran bryozoans was historically contingent but likely. *Proceedings of The Royal Society B*, 276:3141-3148.
- Flórez P. y E. Montoya-Cadavid. 2004. Briozoos de la plataforma continental y el talud superior del Caribe colombiano (20-500 m). Trabajo de grado (Biología Marina), Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, 324 p.
- Flórez-Romero P., E. Montoya-Cadavid, J.O. Reyes-Forero y N. Santodomingo. 2007. Briozoos cheilostomados del Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 36:229-250.
- Fransen C.H. 1986. Caribbean Bryozoa: Anasca and Ascophora Imperfecta of the inner bays of Curaçao and Bonaire. *Studies on the fauna of Curaçao and other Caribbean Islands*, 68(210):1-119.
- Gordon D.P. 2009. Genera and Subgenera of Cheilostomata. Interim Classification (Working Classification for Treatise) versión 28-09-2009 [en línea]. Systematic list of families: <http://bryozoa.net/treatfam.pdf> Alphabetical list of genera and subgenera: <http://www.bryozoa.net/treatgen.pdf>
- Gordon D.P. y S.F. Mawatari. 1992. Atlas of marine fouling Bryozoa of New Zealand ports and harbours. *Miscellaneous publications New Zealand Oceanographic Institute*, 107:1-52.
- Gordon D.P., P.D. Taylor y F.P. Bigey. 2009. Phylum Bryozoa: Moss animals, sea mats, lace corals, Chapter 13, 271-297. En: Gordon D.P. (Ed.), *New Zealand Inventory of Biodiversity. Volume 1, Kingdom Animalia: Radiata, Lophotrochozoa, Deuterostomia*. Canterbury Press, Christchurch.
- Hayward P.J. 1981. The Cheilostomata (Bryozoa) of the deep sea. *Galathea Reports*, 15:21-68.
- Hayward P.J. 1985. Ctenostome Bryozoans. Series Synopses of the British Fauna No. 33, The Linnean Society of London and the Estuarine and Brackish-Water Sciences Association, London, 169 p.
- Hayward P.J. 2000. Lace corals (Bryozoa: Phidoloporidae) from Australia and the tropical south-west Pacific. *Journal of Zoology London*, 252:109-136.
- Hayward P.J. y J.S. Ryland. 1985. Cyclostome bryozoans keys and notes for the identification of the species. Series Synopses of the British Fauna No. 34, The Linnean Society of London and the Estuarine and Brackish-Water Sciences Association, London, 147 p.
- Hayward P.J. y J.S. Ryland. 1998. Cheilostomatous Bryozoa Part I. Aetioidea-Cribilinoidea. Series Synopses of the British Fauna No. 10, The Linnean Society of London and the Estuarine and Brackish-Water Sciences Association, London, 366 p.
- Hayward P.J. y J.S. Ryland. 1999. Cheilostomatous Bryozoa Part II. Hippothoidea-Celleporoidea. Series Synopses of the British Fauna No. 14, The Linnean Society of London and the Estuarine and Brackish-Water Sciences Association, London, 416 p.
- Hondt J.L.-d'. 1983. Tabular keys for identification of the Recent ctenostomatous Bryozoa. *Mémoires de l'Institut océanographique Monaco*, 14:1-134.
- Hondt J.L.-d'. 1985. Contribution à la systématique des Bryozoaires Eurystomes. Apports récents et nouvelles propositions. *Annales des Sciences Naturelles, Zoologie, série*, 13(7):1-12.
- Hondt J.L.-d'. 2005. Revised biological definition of the Bryozoa, 119-131. En: Moyano H.I., J.M. Cancino y P.N. Wyse-Jackson (Eds.), *Bryozoan studies 2004*, Taylor and Francis Group, London.
- Humphries E.M. 1975. A new approach to resolving the question of speciation in smittinid bryozoans (Bryozoa Cheilostomata). *Documents des Laboratoires de Géologie de la Faculté des Sciences de Lyon, Hors Série* 3:19-35.
- Kelmo F., M. Attrill, R.C.T. Gomes y M. Jones. 2004. El Niño induced local extinction of coral reef bryozoans species from Northern Bahia, Brasil. *Biological Conservation*, 118:609-617.
- Kraft A.S. 1993. Bryostatin 1: Will the Oceans Provide a Cancer Cure?. *Journal of the National Cancer Institute*, 85(22):1790-1792.
- Kuzirian A.M., H.T. Epstein, C.J. Gagliardi, T.J. Nelson, M.M. Sakakibara, C.C. Taylor, A.B. Scioletti y D.L. Alkon. 2006. Bryostatin enhancement of memory in *Hermisenda*. *Biological Bulletin*, 210(3):201-14.
- Lacourt A.W. 1968. A Monograph of the Freshwater Bryozoa: Phylactolaemata. *Zoologische Verhandelingen*, 93:1-159.
- Lagaaij R. 1963. New additions to the bryozoan fauna of the Gulf of Mexico. *Institute of Marine Science*, 9:162-236.
- Marcus E. 1937. Bryozoarios marinhos brasileiros. *Boletins da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo*, 1:1-224.
- Marcus E. 1939. Bryozoarios marinhos brasileiros. II. *Boletins da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo Zoologia*, 13:111-353.
- Marcus E. 1955. Notas sobre briozoos marinhos brasileiros. *Arquivos do Museo Nacional de Rio de Janeiro*, 42:273-324.
- Maturo F.J.S. 1957. A study of the Bryozoa of the Beaufort, North Carolina and vicinity. *Journal Elisha Mitchell Scientific Society*, 73(1):11-68.
- McKinney F.K. 1993. A faster paced-world?: contrast in biovolume and life-process rates in cyclostome (Class Stenolaemata) and cheilostome (Class Gymnolaemata) bryozoans. *Paleobiology*, 19(3):335-351.
- McKinney F.K. y J.B.C. Jackson. 1989. Bryozoan evolution. The University of Chicago Press, Chicago, 238 p.
- Montoya-Cadavid E., P. Flórez y J.E. Winston. 2007. Checklist of the marine bryozoa of the Colombian Caribbean. *Biota colombiana*, 8(2):159-184.
- Mukai H. 1982. Development of freshwater bryozoans (Phylactolaemata), 535-576. En: Harrison F.W. y R.R. Cowden (Eds.), *Developmental Biology of Freshwater Invertebrates*, Liss, New York.
- Okuyama M., H. Wada y T. Ishii. 2003. Molecular phylogenetic analysis of the freshwater bryozoans (ectoprocta: phylactolaemata) inferred from mitochondrial DNA. *Zoologica Scripta*, 20(12):243-249.
- Okuyama M., H. Wada y T. Ishii. 2006. Phylogenetic relationships of freshwater bryozoans (Ectoprocta, Phylactolaemata) inferred from mitochondrial ribosomal DNA sequences. *Zoologica Scripta*, 35(3):243-249.
- Orellana M.C. 2006. Estado de conocimiento de los briozoos dulceacuícolas de Chile. *Gayana*, 70(1):96-99.
- Ortiz R.A. 1987. Estudio del desarrollo de comunidades de briozoos en sustrato artificial a diferentes profundidades en la bahía de Santa Marta. Trabajo de grado (Biólogo), Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias, Bogotá, 113 p.
- Osburn R.C. 1927. Bryozoa of Curaçao. *Bijdragen tot de Dierkunde*, 25:123-132.
- Osburn R.C. 1940. Bryozoa of Porto Rico with a résumé of the West Indian bryozoan fauna. *Scientific Survey of Porto Rico and Virgin Islands*, 16(3):15-32.
- Osburn R.C. 1947. Bryozoa of the Allan Hancock Atlantic Expedition, 1939. *Report Allan Hancock Atlantic Expedition*, 5:1-65.
- Peck L.S., P.J. Hayward y M.E. Spencer-Jones. 1995. A pelagic bryozoans from Antarctic. *Marine biology*, 123(4):757-762.
- Philip P.A., D. Rea, P. Thavasu, J. Carmichael, N.S.A. Stuart, H. Rockett, D.C. Talbot, T. Ganesan, G.R. Pettit, F. Balkwill y A.L. Harris. 1993. Phase 1 study of bryostatin 1: Assessment of interleukin 6 and tumor necrosis factor alpha induction in vivo. *Journal of the National Cancer Institute*, 85: 1812.
- Porter J.S., J.R. Ellis, P.J. Hayward, S.I. Rogers y R. Callaway. 2002. Geographic variation in the abundance and morphology of the bryozoan *Alcyonidium diaphanum* (Ctenostomata: Alcyonidiidae) in UK coastal waters. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 82:529-535.
- Ramalho L.V., G. Muricy y P.D. Taylor. 2009. Cyclostomata (Bryozoa, Stenolaemata) from Rio de Janeiro State, Brazil. *Zootaxa*, 2057:32-52.
- Reyes R. y N.H. Campos. 1992. Macroinvertebrados colonizadores de las raíces de *Rhizophora mangle* en la Bahía de Chengue, Caribe colombiano. *Anales del Instituto de Investigaciones de Punta Betín*, 21:101-116.
- Reyes J., N. Santodomingo, A. Gracia, G. Borrero-Pérez, G.R. Navas, L.M. Mejía-Ladino, A. Bermúdez y M. Benavides. 2005. Southern Caribbean azooxanthellate coral communities off Colombia, 309-330. En: Freiwald A. y J.M. Roberts (Eds.), *Cold-water Corals and Ecosystems*, Springer-Verlag, New York.
- Rozemeijer M. y W. Dulfer. 1987. A quantitative analysis of the crypto fauna of the Santa Marta area (Colombia). University of Amsterdam, 48 p.
- Ryland, J.S. 1967. Polyzoa. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 5:343-369.
- Schopf T. 1969. Geographic and depth distribution of the phylum Ectoprocta from 200 to 6000 meters. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 113(6):464-474.
- Schopf T. 1974. Ectoprocta as Associates of Coral Reefs: St. Croix, U.S. Virgin Islands. *Proceedings of the Second International Coral Reef Symposium 1*, Great Barrier Reef Committee, Brisbane, 353-356.
- Smith A.M. y M.K. Marcus. 2004. Controls, variation, and a record of climate change in detailed stable isotope record in a single bryozoan skeleton. *Quaternary Research*, 61:123-133.
- Soule D.F., J.D. Soule y H.W. Chaney. 1995. Taxonomic atlas of the benthic fauna of the Santa Maria basin and western Santa Barbara Channel: The Bryozoa. Santa Barbara Museum of Natural History for the Hancock Institute of Marine Studies, California. 344 p.
- Taylor P.D. 2000. Cyclostome systematics: phylogeny, suborders and the problem of skeletal organization, 87-103. En: Herrera-Cubilla A. y J.B.C. Jackson (Eds.), *Proceeding of the 11th International Bryozoology Association Conference*, Smithsonian Tropical Research Institute (STRI), Panamá.

Taylor P.D. 2001. Preliminary systematics and diversity patterns of cyclostome bryozoans from the Neogene of the Central American Isthmus. *Journal of Paleontology*, 75(3):578-589.

Taylor D.P. y C.G. Jones. 1993. Skeletal ultrastructure in the cyclostome bryozoan *Hornera*. *Acta Zoologica (Stockholm)*, 74:135-143.

Todd J.A. 2000. The central role of ctenostomes in bryozoan phylogeny, 104-135. En: Herrera-Cubilla A. y J.B.C. Jackson (Eds.), Proceedings of the 11th International Bryozoology Association Conference, Smithsonian Tropical Research Institute (STRI), Panamá.

Winston J.E. 1982. Marine bryozoans (Ectoprocta) of the Indian River area (Florida). *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 173(2):99-176.

Winston J.E. 1984. Shallow-water bryozoans of Carrie Bow Cay, Belize. *American Museum Novitates*, 2799:1-38.

Winston J.E. 1986. An annotated checklist of coral-associated bryozoans. *American Museum Novitates*, 2859:1-39.

Winston J.E. 1995. Ectoproct diversity of the Indian River coastal lagoon. *Bulletin of Marine Science*, 57(1):84-93.

Winston J.E. 2004. Bryozoans from Belize. *Atoll Research Bulletin*, 523:1-14.

Winston J.E. 2005. Redescription and revision of Smitts "Floridan Bryozoa" in the collection of the Museum of Comparative Zoology, Harvard University. *VMNH Memoir*, 7:1-152.

Winston J.E. y N. Eiseman. 1980. Bryozoan-algal associations in coastal and continental shelf waters of Eastern Florida. *Florida Scientist*, 43(2):65-74.

Winston J.E. y J.B.C. Jackson. 1984. Ecology of cryptic coral reef communities. IV. Community development and life histories of encrusting cheilostome Bryozoa. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 76:1-21.

Winston J.E. y E. Håkansson. 1986. The interstitial bryozoan fauna from Capron Shoal, Florida. *American Museum Novitates*, 2865:1-50.

Winston J.E. 1999. Describing Species. Practical Taxonomic Procedure for Biologists. Columbia University Press, New York, 518 p.

Winston J.E. y A.E. Migotto. 2005. A new encrusting interstitial marine fauna from Brazil. *Invertebrate Biology*, 124(1):79-87.

Winston J.E. y F. Maturo. 2009. Bryozoans (Ectoprocta) of the Gulf of Mexico. 1147-1164. En: Tunnell J.W., D.L. Felder y S.A. Earle (Eds.), Gulf of Mexico Origin, Waters and Biota, Volume 1, Biodiversity, Texas A&M University Press, Texas.

Winston J.E. y R.M. Woollacott. 2009. Scientific Results of the Hassler Expedition. Bryozoa. No. 1. Barbados. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*, 159(5):239-300.

Wood T. 2000. Three new species of plumatellid bryozoans (Ectoprocta: Phylactolaemata) defined by statoblast nodules. *Journal of the North American Benthological Society*, 20(1):133-143.

Wood T.S. y B. Okamura. 2004. A New Key to the Freshwater Bryozoans of Britain, Ireland, and Continental Europe. *Freshwater Biological Association Scientific Publication*, 63:1-113.

## ANEXO

**Anexo 1.** Listado de las especies de Bryozoa encontrados en los fondos del margen continental colombiano entre 20 y 800 m de profundidad a partir de los proyectos Macrofauna II, Marcoral, ANH I y ANH II.

Taxón	Profundidad (m)
<b>Familia Crisiidae</b>	
<i>Crisia denticulata</i> Lamarck, 1812	20-150
<i>Crisia</i> sp.	20-150
<i>Crisiella</i> sp.	70
<b>Familia Mecynoeciidae</b>	
<i>Mecynoecia delicatula</i> (Busk, 1875)	20-150
<b>Familia Oncousoeciidae</b>	
<i>Proboscina robusta</i> Canu y Bassler, 1928	20
<i>Stomatopora</i> sp.	70
<b>Familia Tubuliporidae</b>	
<i>Idmidronea atlantica</i> (Forbes, 1847)	20-150
<i>Tubullipora</i> sp. 1	20
<i>Tubullipora</i> sp. 2	20-70
<i>Tubullipora</i> sp. 3	20
<i>Tubullipora</i> sp. 4	20
<i>Tubullipora</i> sp. 5	20
<b>Familia Diastoporidae</b>	
<i>Plagioecia</i> sp.	70
<b>Familia Lichenoporidae</b>	
<i>Patinella radiata</i> (Audouin, 1826)	70-150
<b>Familia Alcyonidiidae</b>	
<i>Alcyonidium</i> cf. <i>capronae</i> Winston, 1986	20
<b>Familia Vesiculariidae</b>	
<i>Amathia distans</i> Busk, 1886	20-70
<i>Amathia vidovici</i> (Heller, 1867)	20-70
<i>Bowerbankia</i> cf. <i>maxima</i> Winston, 1982	20
<i>Zoobotryon verticillatum</i> (Delle Chiaje, 1828)	20
<b>Familia Aeteidae</b>	
<i>Aetea anguina</i> (Linnaeus, 1758)	20
<i>Aetea ligulata</i> Busk, 1852	73
<b>Familia Electridae</b>	
<i>Electra bellula</i> (Hincks, 1881)	20-758

Continuación de **Anexo 1.**

Taxón	Profundidad (m)
<b>Familia Membraniporidae</b>	
<i>Biflustra denticulata</i> (Busk, 1856)	20-150
<i>Jellyella tuberculata</i> (Bosc, 1802)	20-500
<i>Membranipora tenuis</i> Desor, 1848	20
<b>Familia Antroporidae</b>	
<i>Akatopora leucocypha</i> (Marcus, 1937)	38-150
<i>Antropora</i> sp.	70-300
<b>Familia Calloporidae</b>	
<i>Copidozoum tenuirostre</i> Hincks, 1880	70
<i>Parellisina curvirostris</i> (Hincks, 1862)	20-150
<i>Parellisina</i> sp.	300
<b>Familia Cupuladriidae</b>	
<i>Cupuladria surinamensis</i> Cadée, 1975	20-300
<i>Cupuladria</i> sp.	70-200
<i>Discoporella depressa</i> (Conrad, 1841)	20-500
<b>Familia Quadricellariidae</b>	
<i>Nellia tenella</i> (Lamarck, 1816)	20-774
<b>Familia Bugulidae</b>	
<i>Halophila antillaea</i> Winston, 2005	20-150
<b>Familia Candidae</b>	
<i>Canda simplex</i> Busk, 1884	20-300
<i>Scrupocellaria</i> cf. <i>curacaoensis</i> Fransen, 1986	70
<i>Scrupocellaria pusilla</i> (Smitt, 1872)	20
<i>Scrupocellaria</i> cf. <i>regularis</i> Osburn, 1940	70-265
<i>Scrupocellaria</i> sp. 1	70
<i>Scrupocellaria</i> sp. 3	20-70
<i>Scrupocellaria</i> sp. 5	20-70
<b>Familia Microporidae</b>	
<i>Micropora</i> cf. <i>acuminata</i> Winston, 2005	265
<b>Familia Onychocellidae</b>	
<i>Floridina antiqua</i> (Smitt, 1873)	20-200
<i>Smittipora levinseni</i> (Canu y Bassler, 1917)	70-150
<i>Smittipora</i> sp.	70
<b>Familia Steginoporellidae</b>	

Continuación de **Anexo 1.**

Taxón	Profundidad (m)
<i>Labioporella dumonti</i> Canu y Bassler, 1928	20-150
<i>Steginoporella magnilabris</i> (Busk, 1854)	20-300
<i>Steginoporella</i> sp.	70-150
<b>Familia Thalamoporellidae</b>	
<i>Thalamoporella</i> sp.	758
<b>Familia Chlidoniidae</b>	
<i>Chlidonia pyriformis</i> (Bertoloni, 1810)	20
<b>Familia Cellariidae</b>	
<i>Cellaria bassleri</i> Hastings, 1947	70
<b>Familia Cribilinidae</b>	
<i>Membraniporella aragoi</i> (Audouin, 1826)	20-70
<i>Puellina radiata</i> Moll, 1803	20-300
<b>Familia Catenicellidae</b>	
<i>Catenicella contei</i> (Audouin, 1826)	20
<b>Familia Hippothoidae</b>	
<i>Hippothoa flagellum</i> Manzoni, 1870	20-70
<b>Familia Trypostegidae</b>	
<i>Trypostega striatula</i> (Smitt, 1873)	70-150
<b>Familia Pasytheidae</b>	
<i>Pasythea tulipifera</i> (Ellis y Solander, 1786)	20
<i>Eutaleia evelinae</i> Marcus, 1938	20
<b>Familia Arachnopusiidae</b>	
<i>Poricella mucronata</i> (Smitt, 1873)	20-300
<b>Familia Exechonellidae</b>	
<i>Exechonella</i> sp.	150
<b>Familia Adeonidae</b>	
<i>Bracebridgia subsulcata</i> (Smitt, 1873)	70-300
<i>Reptadeonella bipartita</i> (Canu y Bassler, 1928)	20
<b>Familia Lepraliellidae</b>	
<i>Celleporaria tubulosa</i> Canu y Bassler, 1928	20-300
<i>Celleporaria sherryae</i> Winston, 2005	70-150
<i>Celleporaria</i> sp. 1	20-300
<i>Celleporaria</i> sp. 3	748

Continuación de **Anexo 1**.

Taxón	Profundidad (m)
<b>Familia Smittinidae</b>	
<i>Parasmittina areolata</i> (Canu y Bassler, 1927)	20-150
<i>Parasmittina bethamorphaea</i> Winston, 2005	20-150
<i>Parasmittina egyptiaca</i> (Waters, 1909)	20
<i>Parasmittina munita</i> (Hincks, 1884)	20-70
<i>Parasmittina</i> sp.	20-150
<b>Familia Watersiporidae</b>	
<i>Watersipora subtorquata</i> (d'Orbigny, 1852)	20-70
<b>Familia Schizoporellidae</b>	
<i>Schizoporella pungens</i> (Canu y Bassler, 1928)	150
<i>Stylopoma projecta</i> Canu y Bassler, 1923	20-200
<i>Gemelliporida aculeata</i> Canu y Bassler, 1928	20-300
<i>Gemelliporida typica</i> Canu y Bassler, 1927	20-70
<b>Familia Stomachetosellidae</b>	
<i>Cycloperiella rosacea</i> Osburn, 1947	70-150
<b>Familia Tetraplariidae</b>	
<i>Tetraplaria dichotoma</i> (Osburn, 1914)	20-300
<b>Familia Margaretidae</b>	
<i>Margaretta cereoides</i> (Solander, 1786)	20-150
<b>Familia Escharinidae</b>	
<i>Bryopesanser pesanseris</i> (Smitt, 1873)	20-200
<i>Escharina porosa</i> (Smitt, 1873)	70-300
<b>Familia Teuchoporidae</b>	
<i>Lagenicella marginata</i> (Canu y Bassler, 1930)	20-70
<i>Lagenicella spinulosa</i> (Hincks, 1884)	20-70
<b>Familia Hippaliosinidae</b>	
<i>Hippaliosina rostrigera</i> (Smitt, 1872)	150-200
<b>Familia Microporellidae</b>	
<i>Microporella protea</i> Winston, 2005	20-150
<i>Microporella</i> cf. <i>umbracula</i> (Audouin, 1826)	265
<i>Diporula</i> cf. <i>verrucosa</i> (Peach, 1868)	70
<b>Familia Petraliellidae</b>	
<i>Petraliella bisinuata</i> (Smitt, 1873)	20-300
<i>Petraliella marginata</i> Canu y Bassler, 1928	20
<i>Petraliella</i> sp.	20-70

Continuación de **Anexo 1**.

Taxón	Profundidad (m)
<b>Familia Lacernidae</b>	
<i>Rogicka biserialis</i> (Hincks, 1885)	20-70
<i>Hippomenella fissurata</i> (Canu y Bassler, 1928)	20-150
<b>Familia Mamilloporidae</b>	
<i>Mamillopora cupula</i> Smitt, 1873	20-300
<i>Mamillopora</i> sp.	70-200
<b>Familia Crepidacanthidae</b>	
<i>Crepidacantha longiseta</i> Canu y Bassler, 1928	20
<b>Familia Cleidochasmatae</b>	
<i>Gemelliporina glabra</i> (Smitt, 1873)	20-300
<i>Schedocleidochasma cleidostomum</i> (Smitt, 1873)	20-300
<i>Schedocleidochasma</i> sp.	150
<b>Familia Colatoeciidae</b>	
<i>Trematooecia aviculifera</i> (Canu y Bassler, 1923)	20
<i>Trematooecia turrita</i> (Smitt, 1873)	70-300
<i>Trematooecia</i> sp.	20-150
<b>Familia Celleporidae</b>	
<i>Buskea dichotoma</i> (Hincks, 1862)	20-300
<b>Familia Hippoporidriidae</b>	
<i>Hippoporidra edax</i> (Busk, 1861)	20
" <i>Aimulosia</i> " sp. *	70-150
<b>Familia Phidoloporidae</b>	
<i>Reteporellina evelinae</i> Marcus, 1955	20-150
<i>Reteporellina marsupiata</i> (Smitt, 1873)	70
<i>Reteporella</i> sp.	20-150
<i>Stephanollona asper</i> (Canu y Bassler, 1923)	20-150
<i>Rhynchozoon</i> sp.	150

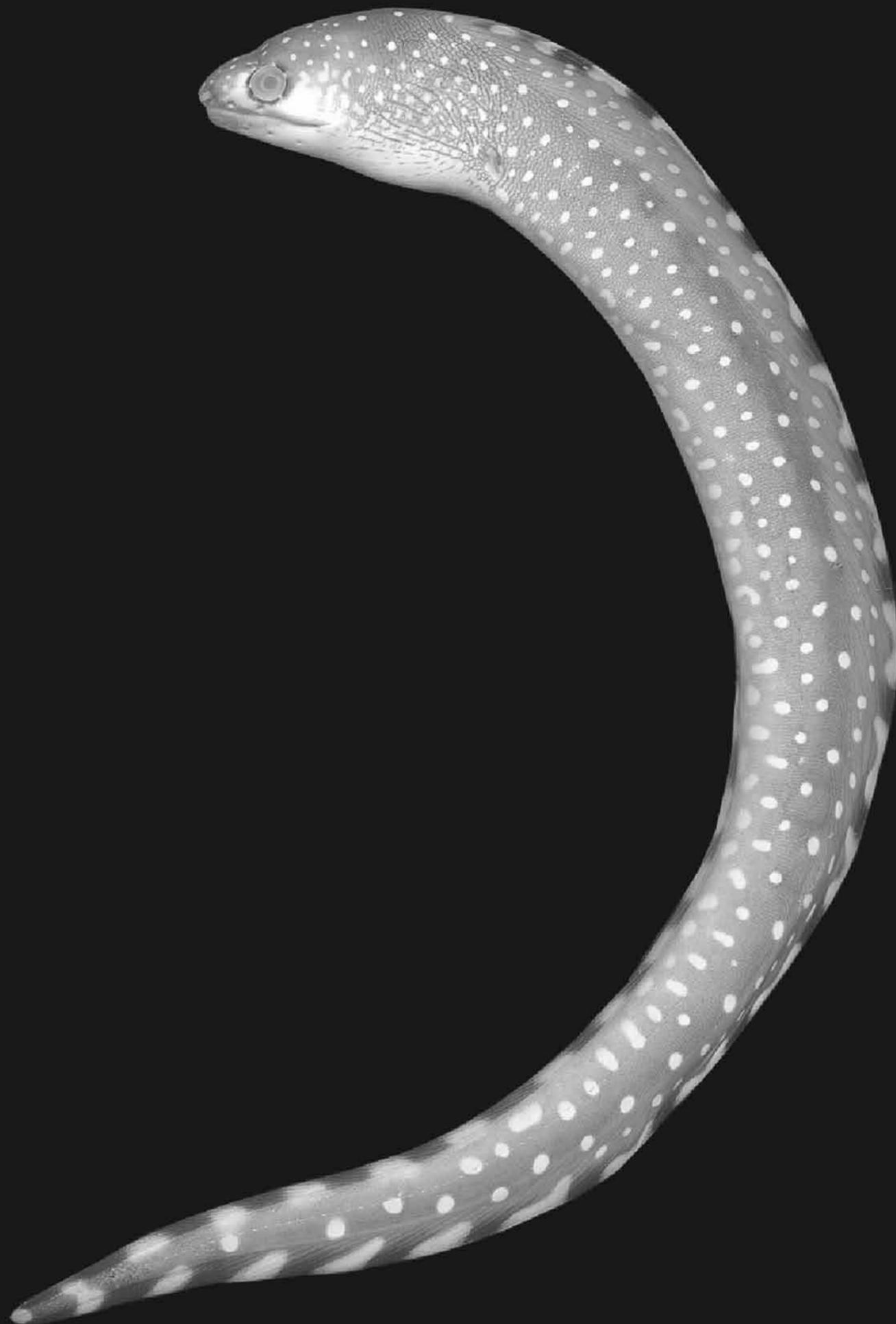
\*De acuerdo a la nota del anexo 3 presentada por Montoya-Cadavid *et al.* (2007) las especies tropicales asignadas a este género requieren una revisión, debido a que *Aimulosia sensu stricto* es un género de especies australes. Aquí se incluye en la familia Hippoporidriidae acorde a las sugerencias de Gordon (Com. pers.).

**Anexo 2.** Información de las estaciones donde se obtuvieron briozoos en el Caribe Colombiano. \*Proyecto Macrofauna II, \*\*Proyecto Marcoral, °Proyecto ANH I, °Proyecto ANH II.

Estación	Latitud	Longitud	Prof. (m)	Lugar
*E87-E88	12° 29' 45" N	71° 43' 40" W	72	Punta Gallinas
*E89-E90	12° 30' 35" N	71° 44' 19" W	152	Punta Gallinas
*E91	12° 34' 35" N	71° 51' 17" W	305	Costa afuera de Punta Gallinas
*E94-E95	12° 06' 45" N	72° 39' 49" W	154	Manaure
*E96-E97	12° 03' 24" N	72° 38' 17" W	70	Manaure
*E98-E99	11° 53' 05" N	72° 36' 39" W	22	Manaure
*E100-E101	11° 25' 34" N	73° 27' 40" W	153	Dibulla
*E102-E103	11° 24' 23" N	73° 28' 18" W	72	Dibulla
*E104-E105	11° 17' 32" N	73° 27' 06" W	21	Dibulla
*E112-E113	11° 22' 52" N	73° 44' 35" W	300	Costa afuera de Buritaca
*E114-E115	11° 28' 04" N	73° 40' 14" W	504	Costa afuera de Buritaca
*E116-E117	11° 20' 05" N	74° 05' 25" W	35	Bahía de Nenguanje
*E118-E119	11° 21' 29" N	74° 06' 17" W	76	Bahía de Nenguanje
*E120-E121	11° 23' 07" N	74° 08' 41" W	151	Frente a Nenguanje
*E122-E123	11° 23' 14" N	74° 10' 50" W	154	Frente a Bahía Concha
*E126-E127	11° 18' 03" N	74° 09' 36" W	39	Frente a Bahía Concha
*E128-E129	11° 05' 58" N	74° 40' 37" W	20	Isla de Salamanca
*E130-E131	11° 09' 05" N	74° 41' 10" W	70	Golfo de Salamanca
*E132-E133	11° 08' 18" N	74° 53' 49" W	153	Bocas de Ceniza
*E134-E135	10° 56' 36" N	75° 06' 29" W	21	Morro Hermoso
*E136-E137	11° 01' 00" N	75° 08' 18" W	72	Morro Hermoso
*E138-E139	11° 02' 09" N	75° 11' 06" W	150	Morro Hermoso
*E146	09° 58' 12" N	75° 45' 03" W	67	Tigua
*E147-E148	10° 00' 05" N	75° 47' 35" W	89	Tigua
*E151-E152	09° 41' 52" N	76° 06' 38" W	71	Tolú
*E153-E154	09° 45' 37" N	76° 15' 19" W	280	Costa afuera de Tolú
*E155-E156	09° 47' 12" N	76° 13' 45" W	160	Tolú
*E157-E158	09° 33' 16" N	75° 41' 05" W	22	Frente al Golfo de Morrosquillo
*E159-E160	09° 17' 03" N	76° 27' 29" W	160	Frente a Puerto Escondido
*E161	09° 13' 59" N	76° 27' 12" W	71	Frente a Puerto Escondido
*E164	09° 01' 18" N	76° 34' 11" W	70	Frente a Arboletes
*E167-E168	09° 04' 02" N	76° 22' 26" W	21	Frente a Puerto Escondido
*E169-E170	09° 46' 47" N	75° 42' 35" W	20	Frente a Tigua
**D1	09° 51' 07" N	76° 11' 04" W	102	AMP-CRSB-A
**D3	09° 48' 53" N	76° 12' 28" W	217	AMP-CRSB-A
**D4	09° 48' 40" N	76° 13' 08" W	285	AMP-CRSB-A
**D11	09° 46' 26" N	76° 14' 11" W	202	AMP-CRSB-A
**D12	09° 47' 06" N	76° 13' 17" W	184	AMP-CRSB-A
**D13	09° 48' 05" N	76° 12' 37" W	122	AMP-CRSB-A
**D16	09° 50' 19" N	76° 10' 19" W	98	AMP-CRSB-A
**D24	09° 44' 05" N	76° 15' 03" W	177	AMP-CRSB-A

Continuación de **Anexo 2.**

Estación	Latitud	Longitud	Prof. (m)	Lugar
**D31	09° 52' 55" N	76° 11' 18" W	225	Costa Afuera-San Bernardo-B
**D35	09° 52' 54" N	76° 10' 07" W	107	Costa Afuera-San Bernardo-B
**D36	09° 54' 01" N	76° 09' 03" W	105	Costa Afuera-San Bernardo-B
**D46	09° 54' 01" N	76° 10' 53" W	265	Costa Afuera-San Bernardo-B
**D67	10° 02' 54" N	76° 03' 55" W	231	Costa afuera de San Bernardo
**D69	10° 04' 25" N	76° 02' 19" W	159	Costa Afuera-Rosario-C
**D74	10° 04' 25" N	76° 02' 03" W	75	Costa Afuera-Rosario-C
**D76	10° 03' 32" N	76° 02' 15" W	127	Costa Afuera-Rosario-C
**C 2	09° 46' 53" N	76° 13' 30" W	151	AMP-CRSB-A
**C 3	09° 46' 26" N	76° 13' 54" W	154	AMP-CRSB-A
"EA253-EA254	12° 32' 49" N	71° 51' 57" W	265	Costa afuera de Bahía Honda
"EA256-EA257	12° 20' 06" N	72° 27' 04" W	265	Costa afuera del Cabo de la Vela
"EA268	08° 59' 25" N	76° 45' 43" W	500	Costa afuera de Punta Caribaná
°EA280	09° 42' 31" N	76° 23' 04" W	748	Costa afuera del Golfo de Morrosquillo
°EA281	10° 00' 15" N	76° 15' 18" W	758	Costa afuera del PNNCRSB
°EA292	11° 32' 17" N	73° 44' 41" W	728	Costa afuera de Buritaca
°EA293	11° 31' 59" N	73° 28' 40" W	774	Costa afuera sector Las Gaviotas



# 10

## APORTES A LA BIODIVERSIDAD ÍCTICA DEL CARIBE COLOMBIANO

*Andrea Polanco F.<sup>1</sup>, Arturo Acero P.<sup>2</sup> y Manuel Garrido-Linares<sup>1</sup>*

1. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - Invemar, Programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos. Museo de Historia Natural Marina de Colombia, Cerro de Punta Betín, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: [anpolanco@invemar.org.co](mailto:anpolanco@invemar.org.co) / [manuel\\_garrido@invemar.org.co](mailto:manuel_garrido@invemar.org.co)

2. Universidad Nacional de Colombia, Sede Caribe- CECIMAR/Invemar, Cerro de Punta Betín, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: [aacero@invemar.org.co](mailto:aacero@invemar.org.co)

**Figura separador:** *Gymnothorax ocellatus*, orden Anguilliformes, familia Muraenidae. Proyecto Macrofauna II.

## RESUMEN

Este capítulo sintetiza la información de la fauna íctica demersal del Caribe colombiano, basado en los resultados obtenidos en los cruceros oceanográficos Macrofauna I (1998), Macrofauna II (2000) y Agencia Nacional de Hidrocarburos I - ANH I (2008) efectuados por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras -Invemar. En total fueron capturados 275 especies y 47 morfotipos agrupados en 27 órdenes, 101 familias y 205 géneros. El número total de individuos recolectados fue 11502; 52,2% de ellos en 62 estaciones entre 200 y 800 m (166 especies y 28 morfotipos) y 47,8% en 34 estaciones entre 20 y 150 m de profundidad (180 especies y 19 morfotipos). En la plataforma continental (20-150 m) dominan, en número de especies, los Perciformes seguidos de los Pleuronectiformes; aunque los Perciformes aun dominan en el talud superior (200-800 m), son seguidos por los Anguilliformes. Estos proyectos aportaron tres especies nuevas para la ciencia, incluidas en los órdenes Myxiniformes (*Paramyxine wayuu*, *Quadratus ancon*) y Pleuronectiformes (*Symphurus hernandezii*) y 57 nuevos registros: cinco para el Caribe, nueve para el Caribe sur y 43 para Colombia. En cuanto a formación de personal, siete profesionales estuvieron involucrados, produciendo seis tesis, cuatro de ellas de pregrado y dos de maestría; a la fecha se han publicado nueve artículos a nivel nacional e internacional.

**Palabras clave:** *Peces demersales, Caribe colombiano, Plataforma continental, Talud superior.*

## ABSTRACT

This chapter summarizes the information about demersal fish fauna in the Colombian Caribbean based on the results of the oceanographic cruises Macrofauna I (1998), Macrofauna II (2000), and the ANH I (2008) carried out by Invemar. Two hundred and seventy five

species and 47 morphotypes grouped in 27 orders, 101 families and 205 genera were collected. The total number of specimens was 11502; 52,2% from 62 stations between 200 and 800 m depth (166 species and 28 morphotypes) and 47,8% from 34 stations between 20 and 150 m depth (180 species and 19 morphotypes). The dominant fish order, in number of species, in the continental shelf (20-150 m) is Perciformes, followed by Pleuronectiformes; in the continental slope (200-800 m) the dominant group is also Perciformes, followed by Anguilliformes. The taxonomic research on the material collected resulted in three new species to science included in the orders Myxiniformes (*Paramyxine wayuu*, *Quadratus ancon*) and Pleuronectiformes (*Symphurus hernandezii*) and 57 new reports: five for the Caribbean, nine for the southern Caribbean and 43 for Colombia. Seven biologists were involved in the projects producing six thesis (four bachelor's and two master's degrees). To date, nine papers have been published in Colombian as well as international scientific journals.

**Key words:** *Demersal fishes, Colombian Caribbean, Continental shelf, Upper slope.*

## INTRODUCCIÓN

La idea general de qué es un pez se restringe a imágenes mentales, limitadas para muchos y numerosas para aquellos dedicados a su estudio (Figura 1). Definir el concepto de pez, implica aceptar excepciones para varias de las ideas comunes que tenemos del mismo. Berra (2001) define un pez como un organismo vertebrado, acuático, incapaz de regular su temperatura independientemente de la temperatura ambiental (poiquiloterma), con apéndices en forma de aletas, que generalmente respira por branquias y usualmente presenta un cuerpo cubierto de escamas. Todo esto aceptando que algunos peces pueden estar fuera del agua o cumplir partes importantes de su ciclo de vida fuera de ella; que varias especies nadadoras regulan su temperatura corporal (homeotermos), como requerimiento metabólico



**Figura 1.** *Lophius gastrophysus*, peces pescadores, orden Lophiiformes, familia Lophidae. Proyecto ANH II.

por su condición de depredadores activos; que muchos peces carecen de un par (o de ambos pares) de aletas o que todas sus aletas están ausentes; que existen especies con estructuras respiratorias extrabranquiales modificadas, como la alta vascularización de la piel, boca y cavidades operculares, presencia de pulmones, uso de la vejiga o modificaciones de la cavidad intestinal para captar aire directamente fuera del agua y, por último, que varios peces presentan cuerpos desnudos, parcialmente escamados o con modificaciones de tamaño y posicionamiento de las escamas que las hacen imperceptibles. Esto implica que para cada pauta que define el concepto “pez” existe una excepción dentro del grupo de los peces, que deben ser siempre tenidas en cuenta. Para muchos, como citan Helfman *et al.* (2009), el concepto simplemente es una jerarquía taxonómica conveniente que contiene organismos acuáticos tan diversos como peces bruja, lampreas, tiburones, rayas, peces pulmonados, esturiones y peces con espinas.

Los peces agrupan una gran riqueza de especies, correspondientes a más de la mitad de los vertebrados vivientes descritos actualmente, con 27977 especies, distribuidas en 515 familias y 62 órdenes (Nelson, 2006). De estas especies, 108 son peces sin mandíbula (agnatos), 970 son cartilaginosos (tiburones, rayas y quimeras) y

26000 son peces óseos (Helfman *et al.*, 2009). Ocupan gran variedad de hábitats dominando todos los ecosistemas acuáticos, presentes a lo largo de los ámbitos de profundidad y temperatura. Su riqueza no se restringe al número de especies y hábitats que ocupan sino que abarca también gran variedad de adaptaciones morfológicas, fisiológicas y etológicas. Encontrando peces de pocos milímetros en contraposición a otros con varios metros de longitud, algunos que respiran por branquias y otros que lo hacen con pulmones, y tanto peces solitarios como gregarios.

Alrededor de 16475 especies de peces son marinas (Bouchet, 2006), correspondiendo al 58,9% del total. En el mar son miembros ubicuos de la comunidad, encontrándose en los sistemas pelágico y bentónico. Los que viven en la columna de agua pertenecen al sistema pelágico que, según su ubicación en el ámbito batimétrico, pueden ser epipelágicos, habitando de 0 a 200 m, mesopelágicos de 200 a 1000 m o pelágicos profundos a profundidades mayores a 1000 m. Aquellos asociados al fondo o demersales, pertenecen al sistema bentónico que, según sus hábitos y relación con el mismo, se diferencian en bentónicos, los que viven en el fondo, y bentopelágicos, los que viven nadando e interactuando sobre él. Este capítulo está restringido a los peces demersales del Caribe colombiano.

Las exploraciones en el mar Caribe colombiano se remontan al siglo XIX con algunos cruceros oceanográficos realizados por expediciones extranjeras. El *Chazalie* (1873), buque de origen francés, parece ser la primera embarcación que realizó un crucero de investigación en aguas colombianas, recolectando moluscos y braquiópodos (Dautzenberg, 1900); en 1884 el *Albatross*, buque de origen estadounidense, realizó levantamientos hidrográficos y batimétricos del área. Posteriormente, entre 1921 y 1930 se efectuaron exploraciones en los buques *Dana* y *Dana II*, provenientes de Dinamarca y *Carnegie* de Estados Unidos. En 1939 el *Velero III* llevó a cabo una expedición conocida como

Allan Hancock Expedition, explorando áreas del sur del Caribe entre Panamá y Venezuela, donde se recolectaron 27 especies de peces en Colombia, la mayoría en la parte norte del país en localidades como el Cabo de la Vela y Bahía Honda (Cadwell y Cadwell, 1964). Entre 1935 y 1951 también ingresaron a aguas colombianas las embarcaciones *Mercator* y *Galathea*, la primera de origen estadounidense y la última danesa (Gómez-Canchong *et al.*, 2004). Posteriormente, entre 1956 y 1960, el National Marine Fisheries Service del gobierno de Estados Unidos realizó varios cruceros, a bordo del *Oregon* 87, 92, 104, II-4, II-22, con resultados publicados por Bullis y Thompson (1965). Los resultados de la exploración de los cruceros 46 (1957) y 78 (1962) en el Caribe occidental, que incluye estaciones cercanas a los bancos Quitasueño, Serranilla, Roncador, Providencia y San Andrés islas fueron publicados por Bullis y Struhsaker en 1970. El *Shimada*, también estadounidense, colectó cuatro muestras en aguas del Caribe colombiano, en un estudio de la fauna marina bentónica de la plataforma asociada al área de la región del istmo de Panamá (Bayer *et al.*, 1970). Paralelo a esto en 1966 y 1968 la Universidad de Miami a bordo del *R/V John Elliot Pillsbury* trabajó en las costas de varios países del Caribe sur, incluida Colombia (Voss, 1966; Voss *et al.*, 1967; Bayer *et al.*, 1970). Las colectas de peces realizadas durante estos cruceros fueron estudiadas por Palacio (1974), constituyéndose en uno de los trabajos más completos sobre peces de la plataforma colombiana realizados hasta ese momento. Sumado a esto se han unido esfuerzos en diferentes proyectos con cooperación internacional, entre 1960 y 1996, con cruceros como el *B/I Chocó*, *B/I Caribbean Star II*, *B/I Fridtjof Nansen* y proyectos como el INPA- VECEP/UE, con el fin de evaluar los recursos demersales y pelágicos del Caribe colombiano. En 1994 el crucero CIOH-Invemmar-Smithsonian efectuó arrastres entre Urabá e Islas del Rosario, en profundidades de 60 a 340 m, depositando el material ictiológico en el Museo de Historia Natural Marina de Colombia – Invemmar (MHNMC).

Hasta finales del siglo pasado, el conocimiento que se tenía de los peces marinos en el Caribe colombiano era la información puntual producida por las exploraciones extranjeras mencionadas anteriormente, junto a grandes esfuerzos de investigación realizados en aguas someras por autores como Posada (1909), Fowler (1941), Díaz (1965), Dahl (1971), Palacio (1974), Mercado (1981a, 1981b), Acero *et al.* (1984, 1986), Garzón-Ferreira y Acero (1983), Acero y Garzón-Ferreira (1985, 1987a, 1987b), Flórez (1986), Gómez y Victoria (1986), Garzón-Ferreira (1989), Mejía (1997) y Mejía *et al.* (1998), entre otros. A ellos se suman algunos trabajos específicos de peces bentónicos y bentopelágicos, como el de García *et al.* (1998) en el cual se discute la formación de ensamblajes de peces en el golfo de Salamanca y Manjarrés (1998) que discute la asociación de peces demersales en la parte norte del Caribe colombiano.

## METODOLOGÍA

En la década de los noventa, surge la iniciativa de completar los inventarios de la biodiversidad marina colombiana con la formulación y desarrollo de grandes proyectos de exploración en el Caribe colombiano. Es así como Invemmar a partir de 1998 lleva a cabo los proyectos Macrofauna I “Caracterización de la macrofauna del Caribe colombiano Fase 1. Epifauna de la franja superior del talud continental (300 – 500 m)”, desarrollado hasta el año 2000; Macrofauna II “Caracterización y catalogación de la macrofauna marina del Caribe colombiano. Fase II”, que va de 2000 al 2002, ambas fases financiadas por Colciencias; Macrofauna III “Fauna marina colombiana: caracterización de la macrofauna de la plataforma continental del mar Caribe colombiano. Estado del conocimiento de la macrofauna de la plataforma continental del Pacífico colombiano y transferencia de tecnología e información del SINA”, financiado por el BID-FONAM, entre 2001 y 2002 y las exploraciones ANH I y II “Especies, ensamblajes y paisajes de los bloques marinos sujetos a exploración de

hidrocarburos” (Figura 2). En este capítulo se exponen los resultados de estas investigaciones realizadas en los últimos once años, sin incluir la segunda fase del proyecto ANH que en la actualidad se encuentra en curso. Con respecto a estos cruceros de investigación, que aportan nuevas luces sobre la inconmensurable riqueza de especies y hábitats marinos desconocidos en nuestro país, es necesario tener en cuenta que en ellos se utiliza el mismo arte de pesca y características del método de captura. Sin embargo, se presentan diferencias en la intensidad de muestreo en cada uno de ellos a lo largo del Caribe colombiano. Igualmente, que el total de las estaciones de estos proyectos es reducido y constituye una representatividad baja con respecto a la totalidad del área de nuestro mar.



**Figura 2.** *Chaunax suttkusi*, peces ataúd, orden Lophiiformes, familia Chaunacidae. Proyecto ANH II.

## RESULTADOS

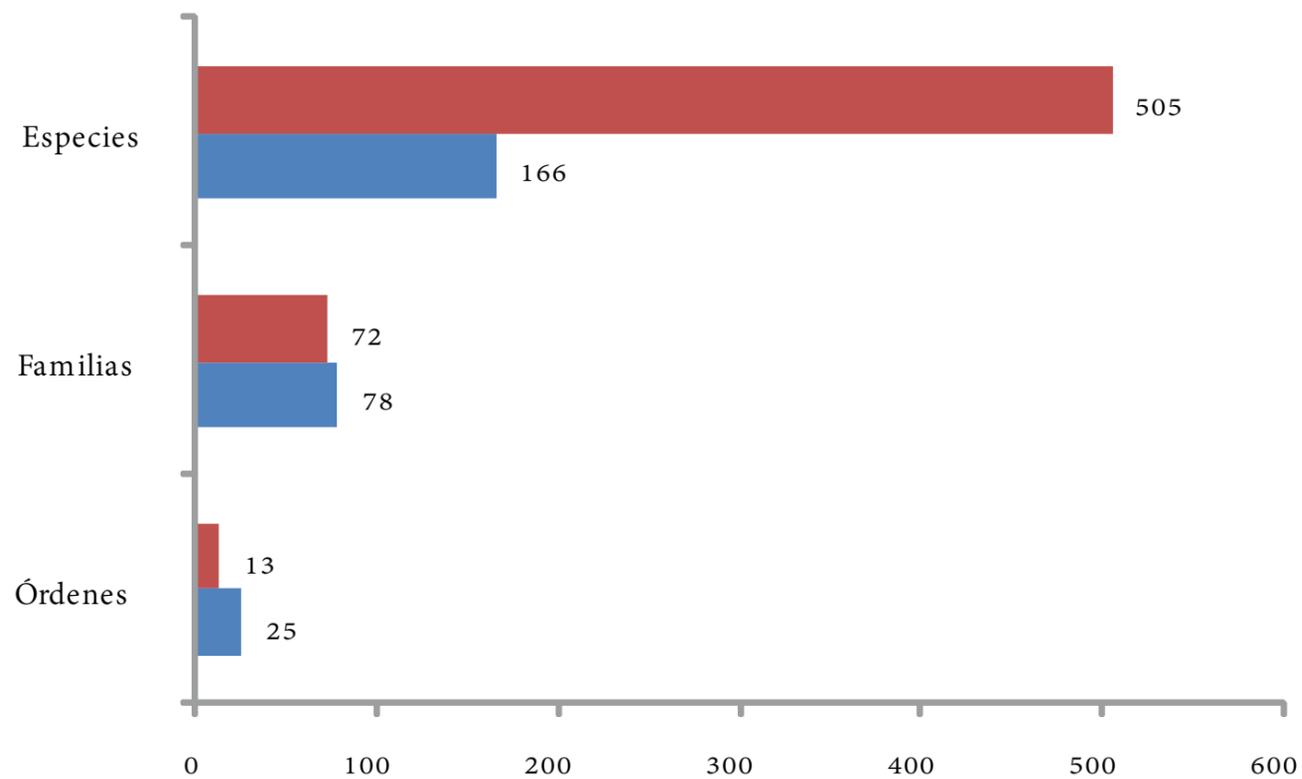
En el Caribe colombiano se conocen alrededor de 1100 especies de peces marinos. De estas, a lo largo de los proyectos Macrofauna I, Macrofauna II y Exploración ANH I, han sido capturadas alrededor de 275 especies y 47 morfotipos identificados a nivel genérico (Anexo 1), incluidos en 27 órdenes, 101 familias y 205 géneros. Si

se calcula sólo a nivel de los registros identificados a especie, la representatividad de las colectas de los proyectos anteriormente mencionados es cercana al 27% con respecto a la fauna íctica total caribeña conocida para el país, una cifra no despreciable teniendo en cuenta el número de muestras tomadas y el ámbito batimétrico muestreado. Desde 20 hasta 800 m, se colectaron aproximadamente 11500 individuos a lo largo de 96 estaciones. En profundidades mayores a 300 m (talud superior) fueron muestreadas 62 estaciones (proyectos Macrofauna I y ANH I) donde se capturaron un total de 6006 individuos, pertenecientes a 166 especies y 28 morfotipos identificados a nivel de género (Tabla 1). El proyecto ANH I centró su atención en 16 estaciones con profundidades mayores a 500 m, donde se colectaron 746 individuos pertenecientes a 86 especies. El proyecto Macrofauna II se ocupó de las isóbatas de 20, 70 y 150 m (plataforma continental) en 34 estaciones, capturando un total de 5224 individuos pertenecientes a 180 especies y 19 morfotipos identificados a nivel de género. Comparando estos resultados con los obtenidos por Haedrich y Merrett (1988) como producto de las nueve mayores campañas realizadas para la cuenca del Atlántico norte, vemos como las cifras de número de especies obtenidas en estas colectas a nivel del talud superior, al igual que el número de familias halladas, es significativo (Figura 3) frente a las 505 especies, 72 familias y 13 órdenes hallados para el Atlántico norte en un ámbito batimétrico mayor (200 – 4000 m). Siendo claro que a nivel específico se colectaron algo menos del 40% de las especies en estas tres campañas, mientras que las cifras a nivel de familias y órdenes muestran una innegable mayor diversidad en el Caribe colombiano, lo cual apoya a Briggs (2007), quien afirma que el Caribe sur es uno de los dos puntos en el mundo con mayor concentración de biodiversidad marina.

A nivel de órdenes un mayor número de estos fueron encontrados durante las colectas en las estaciones del talud superior (Tabla 1), resultado posiblemente influenciado por el mayor número de estaciones mues-

**Tabla 1.** Distribución vertical de los peces bentónicos por órdenes, familias, especies y morfotipos identificados a nivel de género en la plataforma continental y talud superior del Caribe colombiano a partir de las campañas Macrofauna I, II y ANH I.

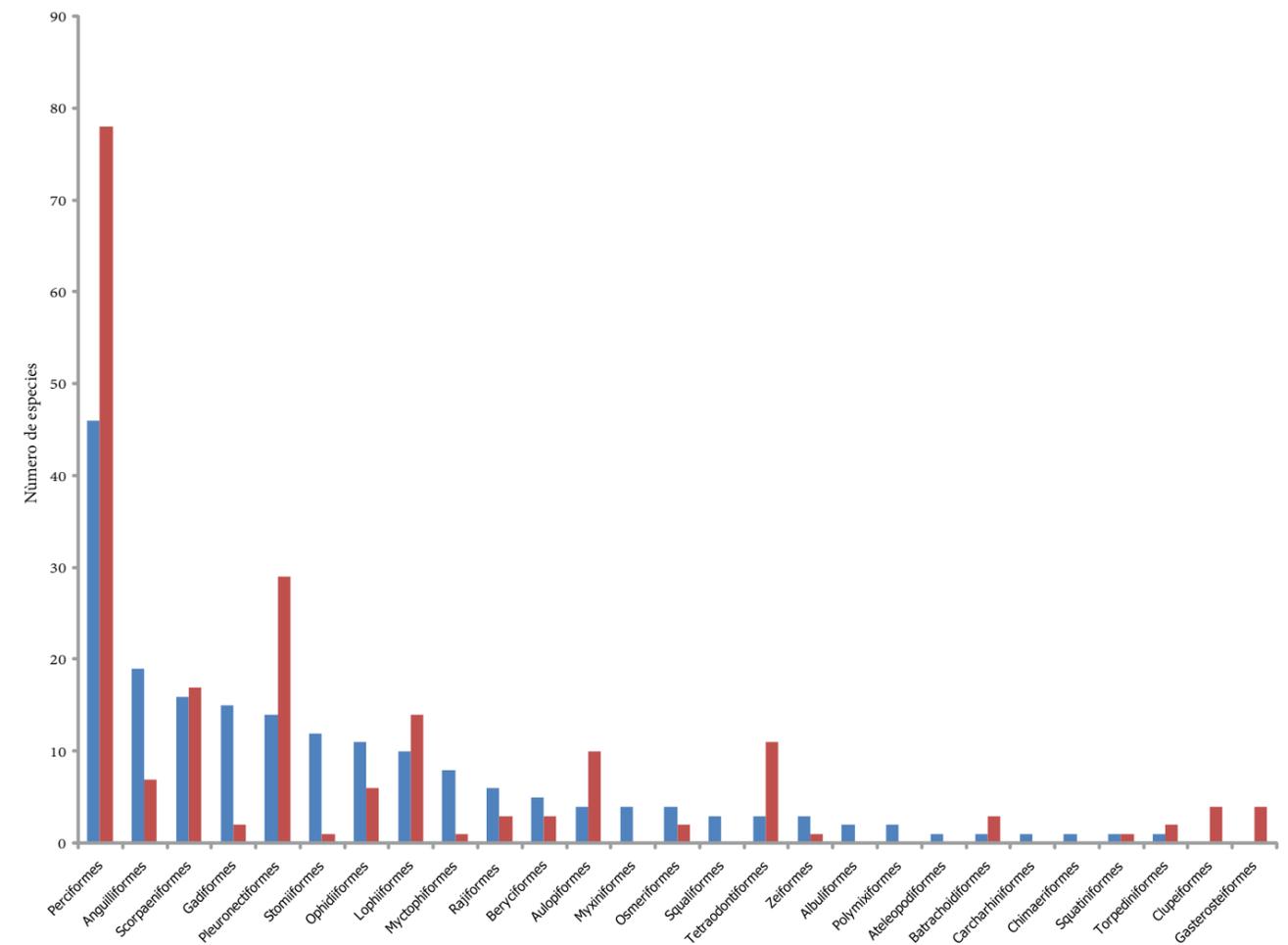
Área	Número de órdenes	Número de familias	Número de especies	Número de morfotipos identificados a género
Plataforma 20 - 70 y 150 m	20	70	180	19
Talud superior 300 – 800 m	25	78	166	28



**Figura 3.** Comparación de la comunidad de peces demersales entre los datos obtenidos para la cuenca del Atlántico norte (barras rojas) entre 200 – 4000 m de profundidad y los datos obtenidos para el Caribe colombiano (barras azules) entre 300 y 800 m de profundidad.

treadas en esta área. Los Perciformes fueron el orden dominante en ambas áreas muestreadas (Figura 4), presentando un mayor número de especies, con 78 en la plataforma continental y 46 en el talud superior. Otros tres órdenes significativos, en cuanto número de especies para ambas áreas, fueron los Pleuronectiformes, Scorpaeniformes y Lophiiformes, dominando en este orden de importancia en la plataforma continental. En

el talud superior son anteceditos en dominancia por los Anguilliformes y se agregan los Gadiformes y los Stomiiformes, dos grupos que cobran importancia a esas profundidades. Varios órdenes colectados fueron exclusivos para alguna de las áreas muestreadas, siete para el caso del talud y dos exclusivos de la plataforma continental (Figura 4).

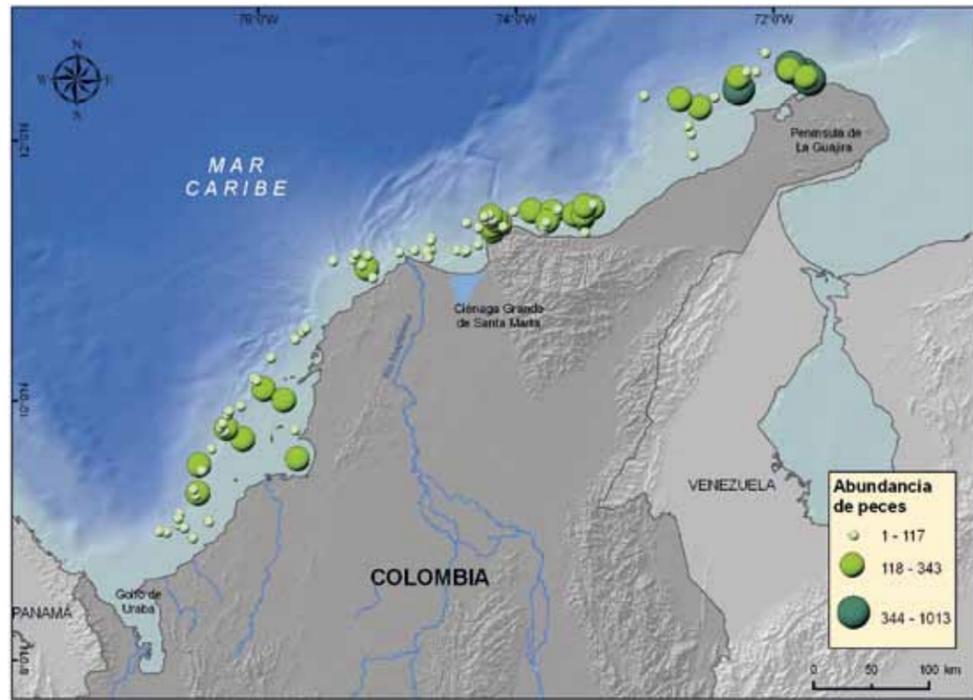


**Figura 4.** Número de especies presente por cada orden en la plataforma continental (20, 70 y 150 m; barras rojas) y talud superior (300 m en adelante; barras azules) a partir de las campañas Macrofauna I, II y ANH I, a lo largo del Caribe colombiano.

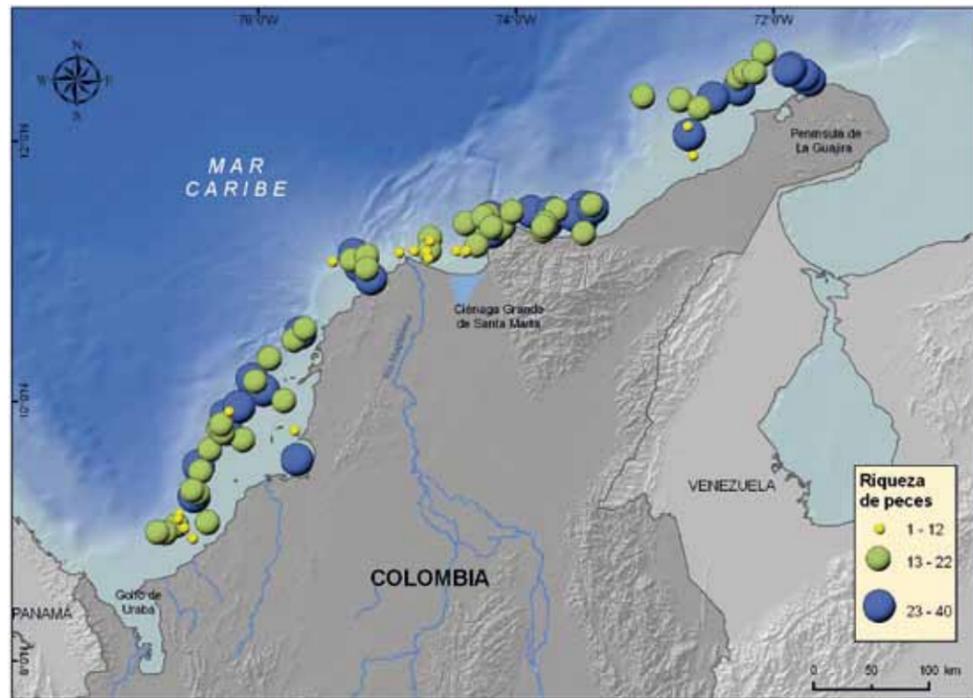
En cuando a la abundancia de peces, entendida como número de individuos por veinte minutos de arrastre que corresponde a cada estación, se observa mayor concentración de individuos en estaciones ubicadas frente a la parte alta de la península Guajira (Figura 5), área influenciada por surgencias de aguas ricas en nutrientes. Los ámbitos de abundancia oscilan entre 344 y 1013 individuos. Al mismo tiempo se evidencia un mayor número de estaciones con ámbitos entre 118 a 343 individuos en las estaciones frente al departamento del Magdalena y al occidente del Caribe colombiano en estaciones frente a los departamentos de Sucre y Córdoba. El resto de estaciones muestreadas presenta abundancias bajas, menores a los 117 individuos.

La riqueza de peces, entendida como el número de especies presentes por estación, a diferencia de la abundancia, no presentó concentraciones localizadas en puntos específicos (Figura 6). El número de especies oscila por lo general entre 13 y 40 por cada punto muestreado a lo largo del Caribe colombiano, con pocas estaciones ubicadas frente a Bocas de Ceniza, lo que se conoce como la media Guajira y el occidente del Caribe, con bajos valores de riqueza (<12 especies).

Producto de estas campañas fueron descritas tres especies nuevas para la ciencia, recolectadas durante el proyecto Macrofauna I, *Paramyxine wayuu* entre 200 y 306 m al norte de Colombia, aguas afuera frente a



**Figura 5.** Abundancia (número de individuos por veinte minutos de arrastre) de peces presente en cada estación a partir de las campañas Macrofauna I, II y ANH I, a lo largo del Caribe colombiano.



**Figura 6.** Riqueza (número de especies por veinte minutos de arrastre) de peces presente en cada estación a partir de las campañas Macrofauna I, II y ANH I, a lo largo del Caribe colombiano.

Bahía Portete en la península de la Guajira. *Quadratus ancon*, también en La Guajira, aguas afuera frente a Punta de los Remedios entre 470 y 488 m y *Symphurus hernandezi*, recolectada a 204 m en Bocas de Ceniza (Figura 7).

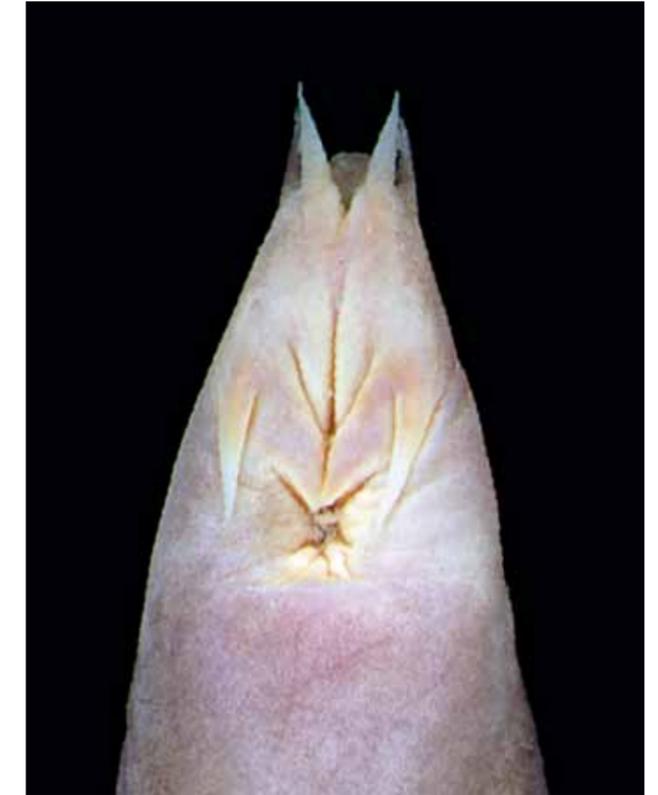
Han sido encontradas 57 especies como nuevos registros para el área (Anexo 1). Cinco nuevos registros para el Caribe: *Plectranthias garrupellus*, *Benthodesmus simonyi*, *Benthodesmus tenuis*, *Symphurus ginsburgi* y *Diplacanthopoma brachysoma* (Roa-Varón *et al.*, 2003, 2007; Saavedra-Díaz *et al.*, 2004) y nueve registros nuevos para el Caribe sur, como *Diplospinus multistriatus*, *Xenophthalmichthys danae* y *Chaunax pictus*, entre otras (Roa-Varón *et al.*, 2003, 2007; Saavedra-Díaz *et al.*, 2004). Para Colombia se han registrado 43 especies

que antes no habían sido halladas en aguas territoriales, entre ellas encontramos a *Gephyroberyx darwini*, *Halosaurus ovenii*, *Poecilopsetta inermis*, *Polymixia lowei* y *Antennarius radiosus*, entre otras (Roa-Varón *et al.*, 2003, 2007; Polanco *et al.*, 2004; Saavedra-Díaz *et al.*, 2004; Mejía-Ladino *et al.*, 2007). Muestras de algunos cruceros se encuentran aún en proceso de identificación y confirmación de especies, con lo cual se espera continuar con la descripción de las nuevas especies y aumentar el número de nuevos registros para Colombia.

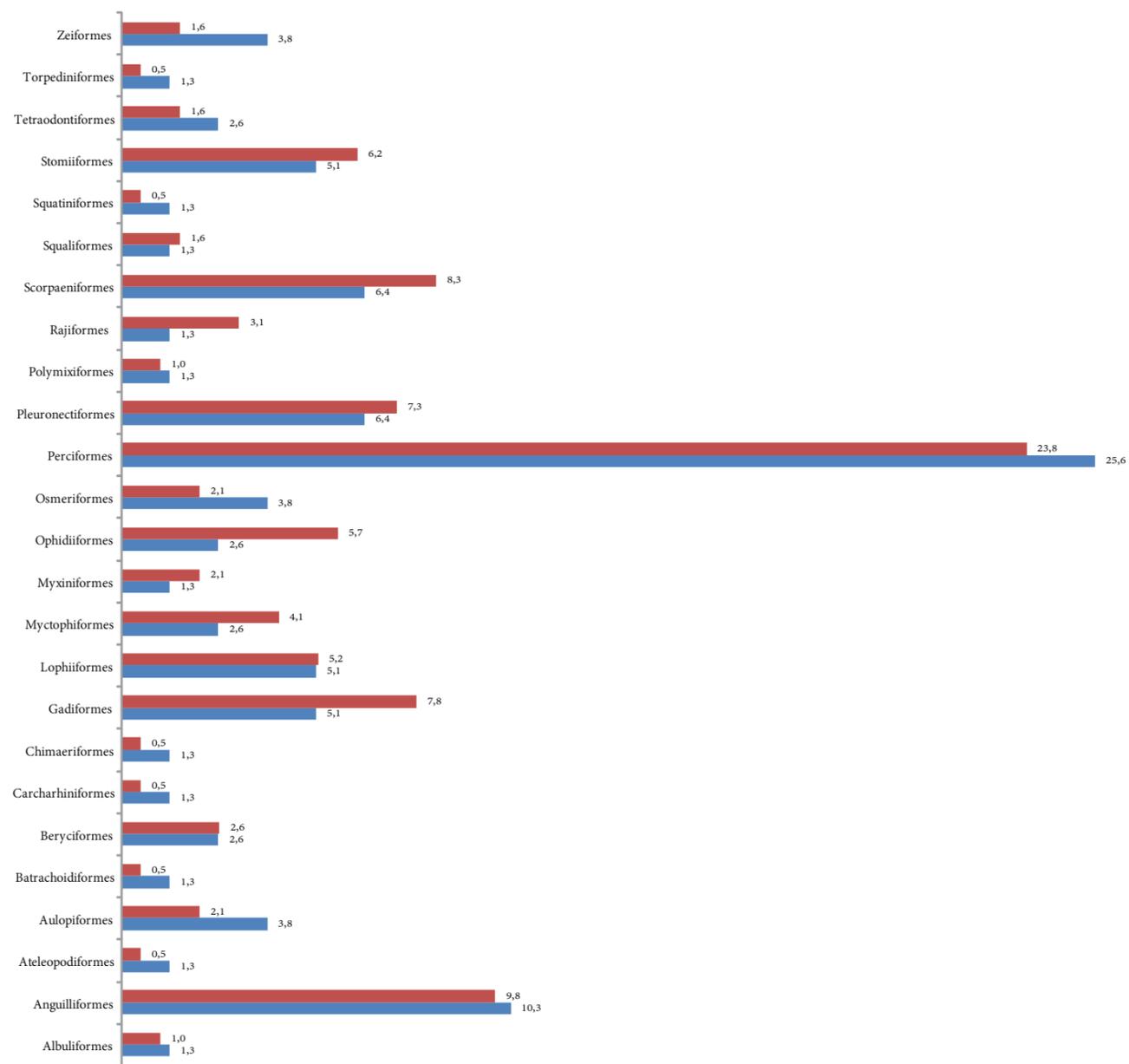
A lo largo de estos once años, se han unido al estudio de los peces más de siete profesionales, desarrollándose seis estudios de tesis que involucran información de estos proyectos: Saavedra-Díaz (2000), Roa-Varón (2000),



**Figura 7.** Tres nuevas especies para la ciencia. Imagen superior: *Quadratus ancon*; I. media: *Symphurus hernandezi*; I. inferior: *Paramyxine wayuu*. Proyecto Macrofauna I.



**Figura 8.** Detalle parte ventral de la cabeza de un espécimen de la especie *Myxine mccoferi*, orden Myxiniiformes, familia Myxinidae. Proyecto Macrofauna I.



**Figura 9.** Familias (barras azules) y especies (barras rojas) de peces, expresadas en porcentaje del total recolectadas por cada orden en el talud superior (300 m a 800 m de profundidad) a partir de las campañas Macrofauna I, II y ANH I, a lo largo del Caribe colombiano.

Polanco F. (2002, 2006), Garrido-Linares (2004) y Mejía-Ladino (2007). Los dos primeros trabajos constituyen el inventario de las especies recolectadas durante el crucero Macrofauna I, los restantes son estudios de taxones específicos que utilizan muestras en su totalidad provenientes de las colectas como es el caso del

estudio de la familia Synodontidae para el Caribe colombiano (Polanco, 2002) o parcialmente, unido a la revisión de muestras provenientes de otras fuentes. Los resultados de estas investigaciones han sido publicados en artículos científicos en revistas a nivel nacional e internacional con el apoyo de investigadores nacionales

e internacionales (Saavedra *et al.*, 2000, 2004; Mejía *et al.*, 2001; Mok *et al.*, 2001; Roa-Varón *et al.*, 2003, 2007; Saavedra-Díaz *et al.*, 2007; Polanco *et al.*, 2004; Mejía-Ladino *et al.*, 2007).

Con el fin de presentar un análisis divulgativo de la ictiofauna recolectada durante estas campañas en el Caribe colombiano, a continuación se realizará un recuento de los peces encontrados siguiendo el orden evolutivo de los mismos (Nelson, 2006), iniciando con los myxínidos, seguidos de los cartilaginosos (tiburones, rayas y quimeras) y posteriormente los óseos. Al hablar de la representatividad de los grupos a nivel específico, se tienen en cuenta tanto las especies como los morfotipos identificados a nivel de género, colectados en la plataforma continental (20-150 m) y en el talud superior (300 - 800 m).

Los myxínidos (Figura 8), también conocidos como peces bruja, fueron encontrados en profundidades mayores a 300 m, representando el 2,1% de las especies capturadas (Figura 9). Estos organismos vermiformes y cubiertos de mucus se destacaron en las colectas por el hallazgo y descripción de dos nuevas especies para la ciencia, *Paramyxine wayuu* (Mok, Saavedra-Díaz y Acero P., 2001) y *Quadratus ancon* Mok, Saavedra-Díaz y Acero P., 2001, capturadas durante la campaña Macrofauna I (Figura 7).

Entre el grupo de los cartilaginosos están los mitificados tiburones, que a pesar de su imagen legendaria de grandes depredadores, paradójicamente en la actualidad se encuentran sometidos a una sobreexplotación pesquera que amenaza el recurso. En el Caribe colombiano se conoce la presencia de colosales miembros de este grupo en el medio pelágico que alcanzan los 15 m de longitud, sin embargo los actuales hallazgos a nivel bentopelágico corresponden a especies de tallas pequeñas como *Scyliorhinus boa* (Figura 10), especie de tiburón gato perteneciente al orden Carcharhiniiformes que alcanza tamaños máximos de 54 cm (Compagno, 1984), y especies de la familia Etmopteridae, pertenecientes al

orden Squaliformes, conocidos como tiburones linterna por sus órganos de luz, típicos habitantes de fondo en ámbitos de profundidad mayores a los 250 m (Springer y Burgess, 1985).

El tiburón ángel (*Squatina dumeril*; orden Squatiniiformes) algunas veces confundido con las rayas por la extensión lateral de sus aletas pélvicas y pectorales (Figura 11), es considerado un organismo bentónico con distribución batimétrica desde aguas someras hasta profundidades mayores a 1300 m (Weitzman, 1997). En el Caribe colombiano fue encontrado a partir de 150 m de profundidad. El grupo de los tiburones, sumando los tres órdenes mencionados anteriormente, representó el 3,9% de la muestra extraída a nivel familiar y el 2,6% a nivel específico, en el talud superior (Figura 9).



**Figura 10.** *Scyliorhinus boa*, orden Carcharhiniiformes, familia Scyliorhinidae. Proyecto Macrofauna I.



**Figura 11.** *Squatina dumeril* (Lt: 250 mm), orden Squatiniiformes, familia Squatinidae. Proyecto Macrofauna II.



**Figura 12.** *Urobatis jamaicensis* (longitud total - Lt: 245 mm), orden Rajiformes, familia Urotrygonidae. Proyecto Macrofauna II.

Las rayas, con su marcado aplanamiento dorsoventral y posición de los ojos en la región dorsal pertenecen también al grupo de los esqualos, con características propias para la adaptación a la vida bentónica. Durante las campañas, fueron halladas 11 especies pertenecientes a los órdenes Torpediniformes, conocidas como rayas eléctricas o torpedo, y Rajiformes, de la traducción de su nombre vulgar en inglés, rayas patín, tres de ellas capturadas en estaciones ubicadas en profundidades de 20 a 150 m exclusivamente, *Diplobatis guamachensis*, *Rhinobatos percellens* y *Urobatis jamaicensis* (Figura 12).

Los individuos de la especie *Dactylobatus clarkii* (Figura 13) fueron capturados en estaciones de 70 y 500 m.

Las especies recolectadas en profundidades menores a 150 m representan el 5,7 de la captura a nivel familiar y el 2,5 a nivel específico a esas profundidades (Figura 15). Las especies restantes (Anexo 1) fueron halladas en profundidades mayores a 300 m (Figura 14) y representan el 2,6% de la muestra a nivel familiar y 3,6% a nivel específico (Figura 9).



**Figura 13.** Detalle hocico *Dactylobatus clarkii*, orden Rajiformes, familia Rajidae. Proyecto Macrofauna I.

El tercer y último grupo de los cartilagosos, corresponde a las quimeras (Chimaeriformes), organismos que deben su nombre a su aspecto bizarro con cabeza grande, boca de conejo y cola de rata, inspirado en el monstruo de la mitología griega formado por partes de diferentes animales. En su mayoría son habitantes bentopelágicos del talud a grandes profundidades. Durante las campañas se colectaron ejemplares de la especie *Hydrolagus alberti* (Figura 16) de 500 m en adelante.

Entrando a un grupo más diversificado y numeroso, abordamos los peces óseos capturados durante los crueros. Se evidencia la presencia de los órdenes Albuliformes y Anguilliformes que se agrupan por poseer una larva pelágica distintiva con forma de cinta, conocida como larva leptocéfala. Dentro de los Albuliformes se

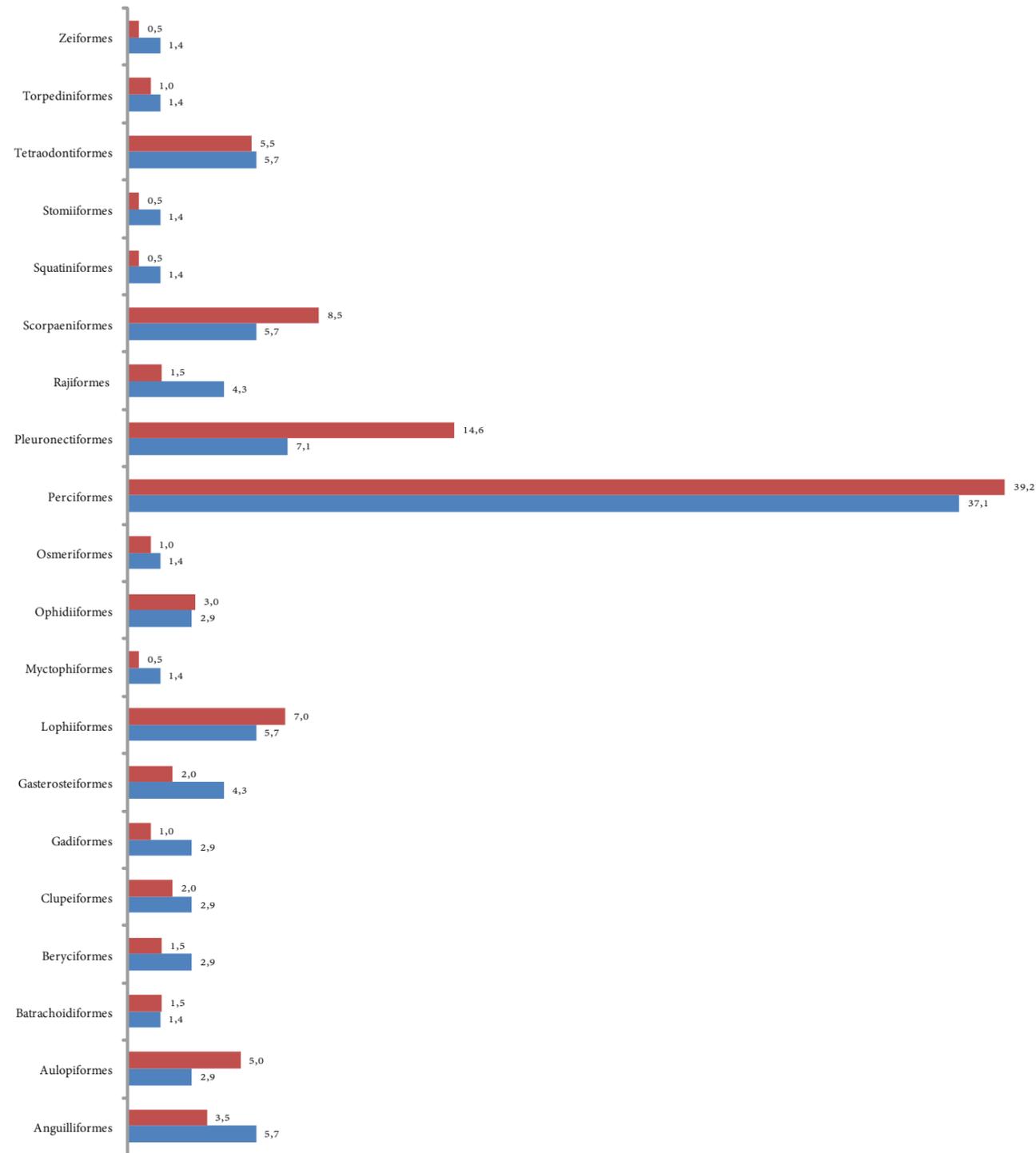


**Figura 14.** *Dipturus garricki*, orden Rajiformes, familia Rajidae. Proyecto Macrofauna I.

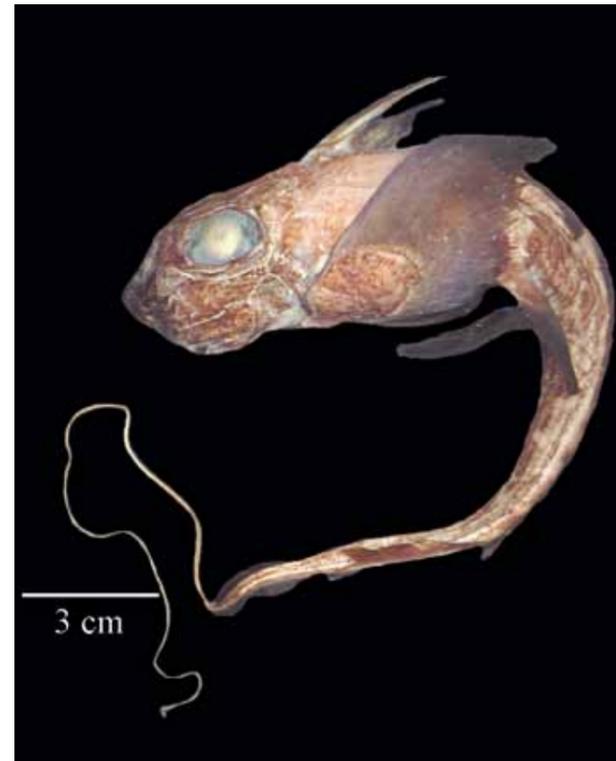
capturaron organismos pertenecientes a la familia Halosauridae (Figura 17), una de sus familias típicas de aguas profundas dentro del orden.

Los Anguilliformes o verdaderas anguilas (Figura 18), por su parte, se distribuyeron a lo largo de todas las profundidades muestreadas, apareciendo en mayor cantidad tanto a nivel familiar como específico en las estaciones profundas a partir de los 300 m, correspondiendo aproximadamente al 10,0% del total muestreado (Figura 9).

El grupo de las sardinas, anchoas (Figura 19) y sardinas dentadas, que se incluyen dentro del orden Clupeiformes, son peces comercialmente importantes, casi todos habitantes de la columna de agua formando cardúme-



**Figura 15.** Familias (barras azules) y especies (barras rojas) de peces, expresadas en porcentaje del total recolectadas por orden en las estaciones de la plataforma continental (20, 70 y 150 m de profundidad) a partir de las campañas Macrofauna I, II y ANH I, a lo largo del Caribe colombiano.

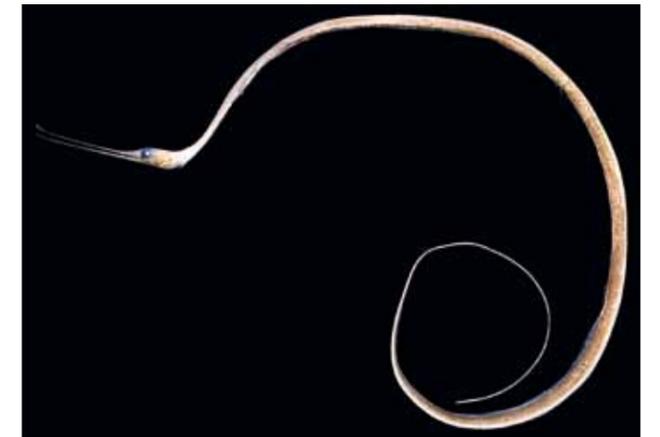


**Figura 16.** *Hydrolagus alberti*, orden Chimaeriformes, familia Chimaeridae. Proyecto Macrofauna I.



**Figura 17.** Detalle lateral de la cabeza de un espécimen de *Halosaurus ovenii*, orden Albuliformes, familia Halosauridae.

nes (Helfman *et al.*, 2009). Este grupo estuvo representado por las familias Engraulidae y Pristigasteridae, cada una con dos especies (Anexo 1). La muestra recolectada de este orden constituye el 2,9% del total a nivel familiar y el 2,0% a nivel específico del volumen capturado en aguas someras (Figura 15).



**Figura 18.** *Nemichthys scolopaceus* (Lt: 409 mm), orden Anguilliformes, familia Nemichthyidae. Proyecto Macrofauna II.

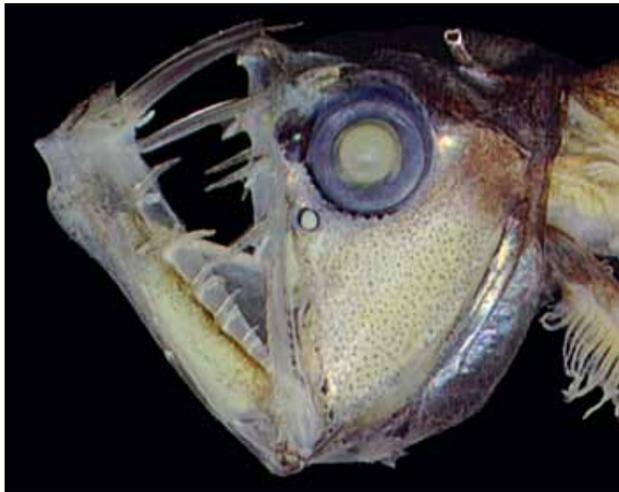


**Figura 19.** *Anchoa lyolepis* (longitud estándar – Ls: 77,8 mm), orden Clupeiformes, familia Engraulidae. Proyecto Macrofauna I.



**Figura 20.** *Argentina striata*, orden Osmeriformes, familia Argentinidae. Proyecto Macrofauna I.

Dos especies de sardinas doradas, como también se conoce a las especies de la familia Argentinidae (Figura 20), una especie de microstomátido y un morfotipo ubicado dentro del grupo de las sardinas de profundidad (Familia Bathylagidae), fueron los representantes del orden Osmeriformes durante estos arrastres bentónicos. Las especies de argentinidos fueron halladas en estaciones a partir de los 150 m, las especies de las otras



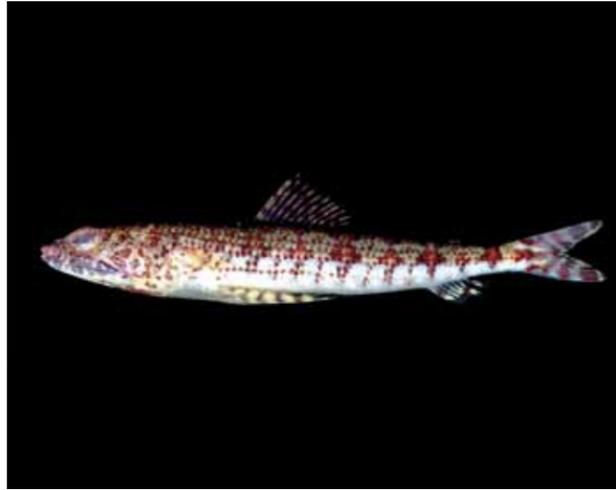
**Figura 21.** Detalle cabeza *Chauliodus sloani*, orden Stomiiformes, familia Stomiidae. Proyecto Macrofauna I.



**Figura 22.** Detalle cabeza *Triplophos hemingi*, orden Stomiiformes, familia Gonostomatidae. Proyecto Macrofauna I.



**Figura 23.** *Ijimaia antillarum* (Lt: 1020 mm), orden Ateleopodiformes, familia Ateleopodidae. Proyecto ANH II.



**Figura 24.** *Synodus synodus* (Lt: 93,24 mm), orden Aulopiformes, familia Synodontidae. Proyecto Macrofauna II.

dos familias se restringieron a profundidades mayores a 300 m. Tanto a nivel de familias como de especies el porcentaje de colecta fue mayor en el talud superior.

Los Stomiiformes (Figura 21) o peces dragón, que se caracterizan por poseer órganos luminiscentes o fotóforos, viven en aguas profundas de las regiones mesopelágicas y batipelágicas (Helfman et al., 2009). Durante

las campañas se colectaron 12 especies incluidas en las familias Gonostomatidae o peces boca espinosa, Phosichthyidae (peces luminosos), Sternoptychidae (peces hacha) y Stomiidae (dragones barbados). El orden representa el 5,1% de familias y el 6,2% de las especies capturadas en profundidades mayores de 300 m (Figura 9). La especie *Triplophos hemingi* (Figura 22) fue capturada también en dos estaciones someras (70 y 150 m).

En aguas profundas se encuentran extraños peces de cabeza globosa y largas colas, nadando sobre el fondo. Los peces hocico de gelatina, como se conoce a los Ateleopodiformes, evidenciaron su presencia en aguas del Caribe colombiano con la aparición de la especie *Ijimaia antillarum* en una estación a 500 m de profundidad (Figura 23).

Los peces lagarto (Figura 24) y sus parientes (Aulopiformes) fueron capturados a lo largo del ámbito batimétrico desde las estaciones de 20 hasta las de 800 m. En aguas someras se encontraron todas las especies pertenecientes a la familia Synodontidae o peces lagarto, excepto *Saurida caribbea* que se destaca en el grupo por poseer un amplio ámbito batimétrico de distribución, mayor a los 300 m, a los cuales fue capturada en estos arrastres. Por su lado la familia Chlorophthalmidae o peces ojiverdes hace su aparición con *Chlorophthalmus agassizi* (Figura 25) y *Parasudis truculenta*, la primera a profundidades a partir de 150 m, destacándose como una de las especies con mayor porcentaje de frecuencia de aparición (37,5%) con respecto al número total de estaciones durante las campañas (Anexo 1) y la segunda en profundidades desde los 300 m. Igualmente la familia Ipnopidae, que comprende los peces araña o peces trípode conocidos así por sus radios alargados en aletas pectorales, pélvicas y caudales que les sirven para posarse sobre el sedimento en aguas profundas (Helfman et al., 2009), está representada por la especie *Bathypterois bigelowi* en profundidades mayores a 300 m. En general, el orden Aulopiformes se vio representado por un mayor número de familias recolectadas a mayores profundidades y un mayor número de especies en aguas someras.

Un grupo común de peces en todos los océanos es el de los Myctophiformes (Figura 26), conocidos como peces linterna (*Myctophidae*) y peces barbilla negra (*Neoscopelidae*). Se caracterizan por poseer fotóforos en casi todas sus especies, excepto algunos neoscopélidos. En general se capturaron mayor número de familias y es-



**Figura 25.** Detalle cabeza *Chlorophthalmus agassizi*, orden Aulopiformes, familia Chlorophthalmidae. Proyecto Macrofauna II.



**Figura 26.** *Diaphus* sp. (Ls: 40,34 mm), orden Myctophiformes, familia Myctophidae. Proyecto Macrofauna II.



**Figura 27.** *Polymixia lowei*, orden Polymixiformes, familia Polymixiidae. Proyecto Macrofauna I.

peces de este grupo en profundidades mayores a 300 m, correspondiendo al 2,6% y 4,1% respectivamente (Figura 9), del total colectado a estas profundidades. Hasta 150 m la representatividad del orden en cuanto a familias (1,4%) y especies (0,5%) fue mínima.

Los Polymixiiformes (Figura 27) o peces barbados, han sido un grupo llamativo durante la historia por po-

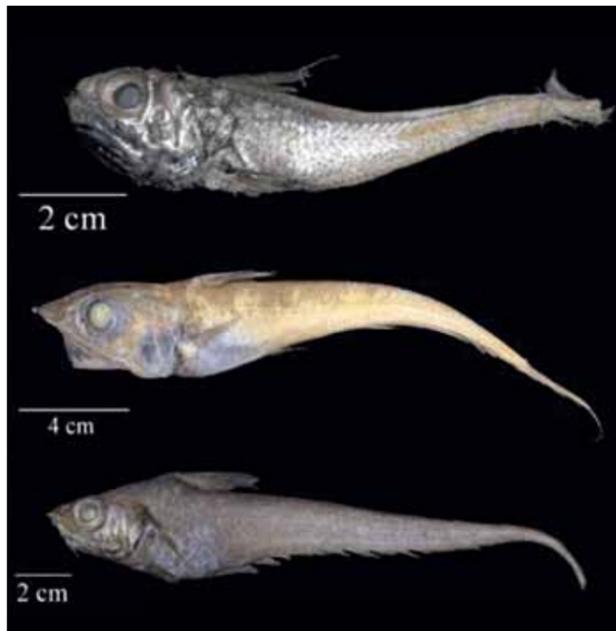
seer una combinación de características “primitivas” y “avanzadas” dentro del grupo de los peces, que los hace de difícil ubicación a nivel evolutivo. De las 10 especies que se conocen a nivel mundial dos fueron recolectadas en aguas colombianas a más de 300 m de profundidad (*Polymixia lowei* y *P. nobilis*).

Los paracantopterígios incluyen ordenes de peces que han sido agrupados porque comparten características relacionadas con el esqueleto caudal y los orificios de los nervios craneales (Ophidiiformes, Gadiformes, Batrachoidiformes y Lophiiformes), todos ellos exitosamente adaptados a la vida nocturna o permanente oscuridad de la vida bentónica en grandes profundidades o cuevas (Helfman et al., 2009). Las anguilas cusk, como se conoce a los Ophidiiformes, incluyen cinco familias a nivel global, de las cuales dos fueron encontradas durante las campañas en el Caribe colombiano; la familia Bythitidae o brótulas con dos especies y la familia Ophidiidae con cuatro especies y ocho morfotipos identificados a nivel genérico. La representatividad familiar de este grupo se mantiene a lo largo del gradiente vertical (aproximándose al 3,0%), presentando un mayor número de especies en profundidades a partir de 300 m (5,7%). De este grupo se destaca la especie de ophidiido *Neobythites gilli* (Figura 28) que mostró el mayor valor de abundancia (940 individuos) a través de las campañas, presentando al mismo tiempo un alto porcentaje de frecuencia de aparición (Anexo 1), siendo recolectada en 31 estaciones de las 96 muestreadas.

Los Gadiformes, también conocidos como bacalaos, granaderos, colas de rata y merluzas (Figura 29), contienen algunas de las especies más importantes a nivel comercial, constituyendo al menos un cuarto de la captura de pesca marina a nivel global. Incluyen 555 especies en el mundo (Nelson, 2006), de las cuales se colectaron once y cuatro morfotipos identificados a nivel genérico, incluidos dentro de cuatro familias (Anexo 1). La representatividad familiar y específica del grupo en las colectas aumentó en las estaciones profundas a partir



**Figura 28.** *Neobythites gilli*, orden Ophidiiformes, familia Ophidiidae. Proyecto Macrofauna II.



**Figura 29.** Imagen superior: *Hymenocephalus italicus*; l. media: *Coelorinchus caelorhincus*; l. inferior: *Nezumia aequalis*, orden Gadiformes, familia Macrouridae. Proyecto ANH I.



**Figura 30.** *Thalassophryne maculosa* (Ls: 32,46 mm), orden Batrachoidiformes, familia Batrachoididae. Proyecto Macrofauna II.

de los 300 m (Figura 9), corroborando la dominancia de familias como Macrouridae y Moridae en hábitats bentopelágicos del mar profundo (Haedrich, 1997). Se destacan las especies *Coelorinchus caribbaeus*, *C. caelorhincus*, *Nezumia aequalis* e *Hymenocephalus italicus*, todas ellas pertenecientes a la familia Macrouridae, y *Laemonema goodebeanorum* perteneciente a la familia Moridae. Todas las especies anteriormente mencionadas, presentaron altos valores porcentuales de frecuencia de aparición, por encima del 25,0% en estas mismas estaciones, con valores de abundancia considerables, mayores al 2,0% (Anexo 1).

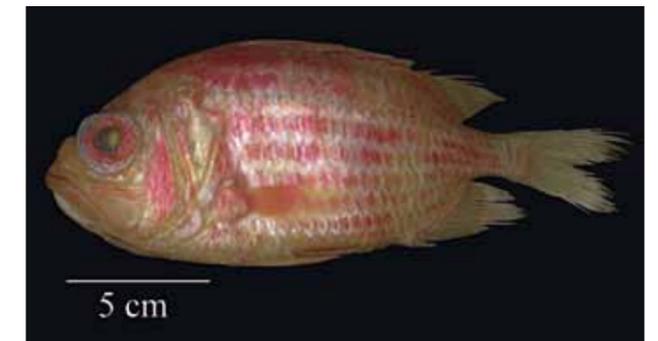
Los Batrachoidiformes o peces sapo (Figura 30), orden que contiene una sola familia (Batrachoididae), estuvieron representados por tres especies, dos de ellas (*Porichthys pauciradiatus* y *Thalassophryne maculosa*) en estaciones de 20 a 150 m y *P. plectrodon* también hallada en una estación a 300 m. Por último dentro de este grupo de los paracantopterígios, encontramos los peculiares Lophiiformes o peces pescadores, incluyendo cinco familias, los bocones o peces ganso (Lophiidae), los peces ataúd o sapos marinos (Chaunacidae), los peces antena o peces sapo (Antennariidae) y los peces murciélago (Ogcocephalidae). Dos de estas familias restringidas a aguas profundas mayores a 150 m, los lóphidos con tres especies y los chaunácidos con dos, una de ellas, *Chaunax suttkusi* (Figura 31), encontrada en un número considerable de estaciones a estas profundidades (Anexo

1). Por su parte las cuatro especies de antenáridos fueron recolectadas en estaciones de profundidades menores a 150 m. Tres individuos de la especie *Bufoceratias wedli*, colectados a 150 y 500 m, fueron los representantes de los dicerátidos durante las campañas. Los ogcocephálicos fueron hallados a lo largo de todo el ámbito de profundidades muestreadas, con siete especies y un morfotipo identificado a nivel genérico. Se destaca dentro del grupo la especie *Dibranchius atlanticus* que presentó un alto porcentaje de frecuencia de aparición en las campañas, siendo recolectada en 36 estaciones (Anexo 1). El orden presentó mayores valores de representatividad a nivel familiar y específico en las estaciones someras hasta 150 m (Figura 15).

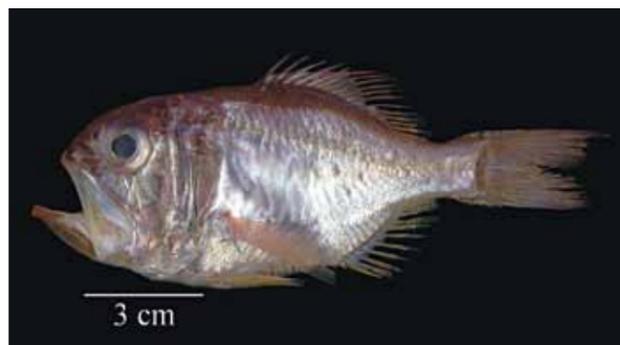
Siguiendo el orden evolutivo, aparecen los percomorfos que agrupan numerosas especies pertenecientes a una gran variedad de familias y órdenes, que tienen como característica común la presencia de una cintura pélvica ubicada en posición anterior en el cuerpo, unida a la cintura pectoral directamente o con un ligamento, sumado a la típica combinación de una espina anterior en sus aletas pélvicas y cinco o más radios blandos (Helfman et al., 2009). Durante las campañas de Macrofauna I y II y ANH I se capturaron especies pertenecientes a cinco órdenes incluidos dentro de Percomorpha. Inicialmente encontramos los Beryciformes, que incluyen peces conocidos como peces ardilla y peces cabeza de lija, poseen adaptaciones como fotóforos o grandes ojos propios de



**Figura 31.** Detalle cabeza *Chaunax suttkusi*, orden Lophiiformes, familia Chaunacidae. Proyecto Macrofauna I.



**Figura 32.** *Ostichthys trachypoma*, orden Beryciformes, familia Holocentridae. Proyecto Macrofauna I.



**Figura 33.** *Hoplostethus occidentalis*, orden Beryciformes, familia Trachichthyidae. Proyecto Macrofauna I.

la vida nocturna o en profundidad y comprende siete familias de las cuales dos fueron encontradas durante las campañas (Holocentridae y Trachichthyidae). Los holocéntridos, habitantes nocturnos del arrecife, se caracterizan por sus vivos colores rojos, son típicos de aguas someras y fácilmente localizables en cuevas o lugares protegidos. Se colectaron tres especies, dos de ellas características de arrecife y *Ostichthys trachypoma* (Figura 32), en estaciones a 300 m de profundidad.

Los trachichthyidos, peces comprimidos lateralmente, con cuerpos ovalados y profundos, son típicos habitantes del fondo marino. De este grupo fueron recolectadas dos especies, entre ellas se destaca *Hoplostethus occidentalis* (Figura 33), especie de importancia comercial en otras regiones del mundo. Presentó un porcentaje de



**Figura 34.** *Cyttopsis rosea* (Lt: 80 mm), orden Zeiformes, familia Parazenidae. Proyecto Macrofauna I.

aparición considerable en los muestreos (15,6%) y una marcada concentración de individuos en una de las estaciones de La Guajira, aguas afuera frente a Bahía Honda a 300 m de profundidad, donde fueron capturados más del 50,0% del total de individuos de esta especie.

Del orden Zeiformes (Figura 34) se colectaron tres especies, cada una de ellas perteneciente a una familia diferente. *Zenion hololepis* (Zeniontidae), del grupo de los dories de ojos armados, en estaciones desde 150 hasta 500 m. *Cyttopsis rosea* (Parazenidae) y un morfotipo del género *Xenolepidichthys* (Grammicolepididae) aparecieron en estaciones a partir de los 300 m.



**Figura 35.** *Hippocampus erectus* (longitud rostro: 8,41 mm), orden Gasterosteiformes, familia Syngnathidae. Proyecto Macrofauna II.

Los Gasterosteiformes (Figura 35), que también hacen parte de los percomorfos, comprenden un grupo de peces con escamas modificadas en placas dérmicas y formas diversas. Los famosos caballitos de mar (Syngnathidae), peces corneta (Fistulariidae) y peces trompeta (Aulostomidae) hacen parte de algunas de las familias que conforman el orden y de las cuales se capturaron algunas especies durante las expediciones (Anexo 1). Todas las especies del orden fueron capturadas en profundidades menores a los 150 m.

Dentro de los percomorfos, encontramos los Scorpaeniformes (Figura 36), que comprenden los conocidos peces escorpión o peces roca (Scorpaenidae), actualmente muy nombrados a nivel nacional, por la aparición en los últimos dos años del pez león en aguas colombianas. Dentro de los Scorpaeniformes también encontramos los rubios (Triglidae), rubios armados (Peristediidae) y peces voladores (Dactylopteridae). Este orden, junto a los Perciformes, que con 26 familias y 78 especies encontradas en profundidades menores a los 150 m (Figura 15) y con 20 familias y 46 especies en profundidades mayores de 300 m (Figura 9), son los órdenes que abarcan la mayor representatividad familiar y específica a lo largo del ámbito batimétrico muestreado.

Perciformes, fueron capturadas 85 especies y 16 morfotipos identificados a nivel de género. De las especies recolectadas se destacan dos de peces vientre de linterna, como se conoce a los acropomátidos *Synagrops bellus* (Figura 37), *S. spinosus* y un serránido, *Serranus atrobranchus*, por su alta frecuencia de aparición en las campañas. La presencia de esta última especie, generalmente asociada a arrecifes, puede ser un indicio de hábitats rocosos o arrecifales a estas profundidades. Idea que se soporta con la aparición a 70 y 150 m del apogónido o pez cardenal *Apogon affinis*, que presentó el segundo mayor valor de abundancia, concentrada en dos estaciones en La Guajira, una frente a Punta Gallinas y otra aguas afuera de Dibulla a las profundidades mencionadas respectivamente. Al respecto, Reyes *et al.*



**Figura 36.** *Dactylopterus volitans* (Ls: 60,73 mm), orden Scorpaeniformes, familia Dactylopteridae. Proyecto Macrofauna II.



**Figura 37.** *Synagrops bellus*, orden Perciformes, familia Acropomatidae. Proyecto Macrofauna I.



**Figura 38.** *Symphurus tessellatus*, orden Pleuronectiformes, familia Cynoglossidae. Proyecto Macrofauna II.

(2005) encontraron evidencias de la presencia de un arrecife de profundidad, hecho que es respaldado por la presencia de peces típicos de hábitos arrecifales y rocosos, como en este caso. Este tipo de hallazgos necesita estudios más profundos para determinar la composición y extensión de estos ecosistemas.

Los Pleuronectiformes o lenguados (Figura 38) son conocidos de esta manera por su forma corporal aplanada, adaptada para la vida en el suelo marino. Presentan una asimetría particular con ambos ojos a un solo lado del cuerpo, como consecuencia de la migración de uno de ellos en etapas tempranas de su vida. Durante las colectas aparecen a lo largo de todo el ámbito



**Figura 39.** *Chilomycterus antillarum* (Ls: 69,81 mm), orden Tetraodontiformes, familia Diodontidae. Proyecto Macrofauna II.

batimétrico con especies pertenecientes a cinco familias (Anexo 1). En profundidades menores a los 150 m fueron recolectadas un mayor número de especies (29), correspondiendo al 14,6% de las especies a estas profundidades. A partir de los 300 m la representatividad específica del grupo disminuye, siendo recolectadas 14 especies de las 33 capturadas en la totalidad de las campañas (Figura 9 y 15).

Por su parte, culminando el viaje a través de los grupos de peces colectados durante las campañas realizadas en los últimos once años, aparecen los Tetraodontiformes (Figura 39) que pertenecen a familias conocidas

como peces puercoespín (Diodontidae), peces espina (Triacanthodidae), cofres (Ostraciidae), peces lija (Monacanthidae) y peces globo (Tetraodontidae). La especie *Parahollardia schmidtii* y un morfotipo identificado a nivel genérico de la familia Triacanthodidae (Anexo 1) fueron colectados a profundidades mayores de 300 m. La representatividad familiar y específica del grupo es mayor en profundidades menores a los 150 m, correspondiendo al 5,7% y 5,5% respectivamente (Figura 9).

## PERSPECTIVAS Y VACÍOS

Con el recorrido por los resultados obtenidos durante estas expediciones, se evidencia que el conocimiento de la biota marina colombiana en relación con los peces bentónicos y bentopelágicos ha aumentado considerablemente con la incursión de los investigadores en aguas más allá del límite de la plataforma. Estas investigaciones han reforzado el conocimiento que se tiene sobre ella y ampliado el espectro a hábitats diferentes y a organismos con adaptaciones diversas a condiciones de oscuridad, profundidad y temperaturas extremas. Esto es un claro indicio de que la fauna del Caribe colombiano necesita esfuerzos de estudio aún mayores de los realizados hasta la actualidad. Teniendo en cuenta que estos proyectos son pioneros en aguas profundas, alcanzando los 800 m y que la representatividad de muestreo de los mismos frente a nuestro inconmensurable Caribe es baja, se espera en el futuro lograr grandes avances con tecnologías modernas y adecuadas de investigación, para obtener una noción que se aproxime más a la realidad de nuestros recursos, a mayores profundidades y en otros ecosistemas.

## AGRADECIMIENTOS

Gracias al esfuerzo de todas aquellas personas (estudiantes, investigadores y tripulación de cruceros) e instituciones que participaron en los proyectos y exploraciones, ya que de alguna manera contribuyeron en la construcción de nuevos cimientos en el conocimiento de la ictiología marina. Especial agradecimiento a los investigadores Ricardo Betancur y Andia Chaves por la revisión del documento y sus invaluable aportes.

## REFERENCIAS

Aceró P. A., J. Garzón-Ferreira y F. Köster. 1984. Lista de especies óseas conocidos de los arrecifes del Caribe colombiano

incluyendo 31 nuevos registros y descripciones. *Caldasia*, 14(66):37-84.

Aceró P. A. y J. Garzón-Ferreira. 1985. Peces de las Islas del Rosario y San Bernardo (Colombia). *Actualidades Biológicas*, 14(54):137-138.

Aceró P. A., R. Álvarez-León y J. Garzón-Ferreira. 1986. Peces comerciales del Caribe colombiano sin incluir los de las islas, cayos y bajos del Caribe occidental (propuesta para la unificación de nombres vernaculares). *Informe Museo del mar*, No. 31. 15 p.

Aceró P. A. y J. Garzón-Ferreira. 1987a. Los peces marinos hallados durante la expedición Urabá II al Caribe chocoano (Colombia). *Anales Instituto de Investigaciones Marinas Punta Betón*, 24: 165-172.

Aceró P. A. y J. Garzón-Ferreira. 1987b. Peces arrecifales de la región de Santa Marta (Caribe colombiano). 1. Lista de especies y comentarios generales. *Acta Biológica Colombiana*, 1(3):83-105.

Aceró P. A. y A. Polanco. 2006. Aportes al conocimiento de la biodiversidad de peces marinos colombianos (1998-2005). Tomo II. 170-174 p. En: Chaves, M.E. y Santamaría, M. (eds.) Informe sobre el avance en el conocimiento y la información de la biodiversidad 1998-2004. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C. 2 Tomos.

Bayer F.M., G.L. Voss y C.R. Robins. 1970. Bioenvironmental and radiological safety feasibility studies Atlantic-Pacific interoceanic canal. Report on the marine fauna and benthic shelf-slope communities of the isthmian region. Processed report. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami, 4 unnumbered, 1-99, 4 unnumbered, A 1-311, 70 figs.

Berra T.M. 2001. *Freshwater Fish Distribution*. Academic Press. San Diego. 604 p.

Bouchet P. 2006. The Magnitude of Marine Biodiversity. Capítulo 2, 32-63, en: Duarte, C. (Ed.) (2006). *The exploration of Marine Biodiversity: scientific and technological challenges*. Fundación BBVA, Bilbao, 158 p.

Briggs J.C. 2007. Marine longitudinal biodiversity: causes and conservation. *Diversity and distributions*. 13:544-555

Bullis H.R. y P.J. Struhsaker. 1970. Fish fauna of the western Caribbean upper slope. *Quarterly Journal of the Florida Academy of Sciences*, 33(1):43-76.

Bullis H.R. y J.R. Thompson. 1965. Collections by the exploratory fishing vessels Oregon, Silver Bay, Combat y Pelican made during 1956 to 1960 in the southern North Atlantic. United

- States Fish and Wildlife Service Special Scientific Report of Fisheries. No. 510, Washington, 130 p.
- Caldwell D. y M.C. Caldwell. 1964. Fishes from the southern Caribbean collected by Veleró III in 1939. Allan Hancock Atlantic Expedition, Report, 10:1-61.
- Compagno L.J.V. 1984 FAO species catalogue. Vol. 4. Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 2 - Carcharhiniformes. FAO Fish. Synop. 125(4/2):251-655.
- Dahl G. 1971. Los peces del norte de Colombia. Inderena, Ministerio de Agricultura, Bogotá D.C., 275 p.
- Dautzenber P. 1900. Croisieres du yacht Chazalie dans L'Atlantique. Mollusques. *Mémoires Societe Zoologique de France*, 13:145-265.
- Díaz E.L. 1965. Información bibliográfica sobre los peces de Colombia y de la región noroccidental de América del Sur. FAO Fisheries Technical Papers, 53:1-72.
- Flórez L. 1986. Lista preliminar de las especies ícticas marinas y salobres reportadas para el Caribe colombiano. Informe Museo del Mar, No. 32. 101 p.
- Fowler H.W. 1941. Lista de peces de Colombia. *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 5(17):128-138.
- García C.B., L.O. Duarte y D. von Schiller. 1998. Demersal fish assemblages of the Gulf of Salamanca, Colombia (southern Caribbean Sea). *Marine Ecology Progress Series* 174:13-25.
- Garrido-Linares M. 2004. Revisión taxonómica y distribución geográfica de *Neobythites gilli*, *N. ocellatus* y *N. monocellatus* (Ophidiiformes, Ophidiidae) en el Caribe colombiano. Tesis Biólogo. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 90 p.
- Garzón-Ferreira J. 1989. Contribución al conocimiento de la ictiofauna de Bahía Portete, departamento de La Guajira, Colombia. *Trianea*, 3:149-172.
- Garzón-Ferreira J. y A. Acero P. 1983. Notas sobre la pesca y los peces comerciales de la Isla de Providencia (Colombia), incluyendo nuevos registros para el Caribe occidental. *Caribbean Journal of Science*, 19(3-4):9-19.
- Gómez D.P. y P. Victoria. 1986. Peces de la Isla de San Andrés y Noreste de la isla de Providencia (Mar Caribe de Colombia). Inventario en arrecifes coralinos, praderas marinas y aguas costeras. *Boletín Ecotrópica*, 13:41-85.
- Gómez-Canchong P., L.M. Manjarrés, O. Duarte y J. Altamar. 2004. Atlas pesquero del área norte del mar Caribe de Colombia. Universidad del Magdalena, Santa Marta. 230 p.
- Haedrich R.L. 1997. Distribution and population ecology. En: D.S. Randall y A.P. Farrell (Eds) Deep sea fishes. San Diego, 3:79-114.
- Haedrich R.L. y N.R. Merrett. 1988. Summary atlas of deep demersal fishes in the North Atlantic Basin. *Journal of Natural History*, 22:1325-1362.
- Helfman G.S., B.B. Collette, D.E. Facey y B. Bowen. 2009. The diversity of fishes. Blackwell Science Editorial, Massachusetts. 2 ed. 528 p.
- Manjarrés L.M. 1998. Caracterización ambiental, ecológica y biológica-pesquera de las asociaciones de peces demersales del Caribe colombiano norte, con énfasis en pargos (Lutjanidae). Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Santa Marta. 205 p.
- McEachran J. y J.D. Fechhelm. 1998. Fishes of the Gulf of Mexico. Myxiniformes to Gasterosteiformes. University of Texas Press, Austin, Vol. 1, 1112 p.
- Mejía L.E. 1997. Comunidades ícticas de los cayos colombianos de San Andrés y su relación con la estructura y salud arrecifal. Tesis de Maestría Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 100 p.
- Mejía L.E., J. Garzón y A. Acero, P. 1998. Peces registrados en los complejos arrecifales de los cayos Courtown, Albuquerque y los Bancos Serrana y Roncador, Caribe occidental, Colombia. *Boletín Ecotrópica*, 32:25-42
- Mejía L.E., Acero P. A., Roa-Varón A. y Saavedra L. 2001. Review of the fishes of the genus *Synagrops* from the tropical western Atlantic (Perciformes: Acropomatidae). *Caribbean Journal of Sciences*, 37(3-4):202-209.
- Mejía-Ladino L. 2007. Peces pescadores (Teleostei: Lophiiformes) del Caribe colombiano. Taxonomía y biogeografía de las familias Lophiidae, Antennariidae, Chaunacidae, Ogcocephalidae y Diceratiidae. Tesis Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Santa Marta, 250 p.
- Mejía-Ladino L.M., A. Acero P., L.S. Mejía M. y A. Polanco F. 2007. Revisión taxonómica de la familia Antennariidae para Colombia (Pisces: Lophiiformes), incluyendo un nuevo registro de *Antennarius*. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 36:269-305.
- Mercado J.E. 1981a. Los peces comerciales del Golfo de Morrosquillo. *Revista Divulgación Pesquera* 15(1-3):1-8.
- Mercado J.E. 1981b. Inventario preliminar de la fauna íctica de la Bahía de Cartagena y algunas consideraciones ecológicas. *Revista Divulgación Pesquera* 16(1-2):1-5.
- Mok H., L.M. Saavedra-Díaz y A. Acero. P. 2001. Two new species of *Eptatretus* and *Quadratus* (Myxinidae: Myxiniformes) from the Caribbean coast of Colombia. *Copeia*, 4:1026-1033.
- Nelson J.S. 2006. Fishes of the world. 4 ed. New Jersey, 601 p.
- Palacio, F.J. 1974. Peces colectados en el Caribe colombiano por la Universidad de Miami. *Boletín Museo del Mar* 137 p.
- Polanco F. A. 2002. Peces de la familia Synodontidae en el Caribe colombiano: inventario y patrones de distribución. Tesis Biólogo. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 140 p.
- Polanco F. A. 2006. Taxonomía y biogeografía de los peces synodontidos (Aulopiformes: Synodontidae) del Nuevo Mundo. Tesis M.Sc., Universidad Nacional de Colombia/Invemar, Santa Marta, 174 p.
- Polanco F. A., L.M. Mejía, A. Acero P. y L.S. Mejía. 2004 Tres primeros registros de peces óseos del Caribe colombiano. *Actualidades Biológicas*, 26(81):114-119.
- Posada A. 1909. Los peces. Contribución al estudio de la fauna colombiana. En: Molina, C.A. (ed.): Estudios científicos del Dr. Andrés Posada con algunos otros escritos suyos sobre diversos temas y con ilustraciones o grabados. Imprenta oficial, Medellín, 285-322.
- Reyes J., N. Santodomingo, A. Gracia, G.H. Borrero-Pérez, G. R. Navas, L.M. Mejía-Ladino, A. Bermúdez y M. Benavides. 2005. Southern Caribbean azooxanthellate coral communities off Colombia. 309-330. En: Freiwald, A, y J.M. Roberts (eds). Cold-water Corals and Ecosystems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1243 p.
- Roa-Varón A. 2000. Caracterización de la comunidad íctica demersal del Caribe colombiano (300-500 m) y algunas consideraciones zoogeográficas. Tesis Biólogo. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 482 p.
- Roa-Varón A., L.M. Saavedra, A. Acero P., L.S. Mejía y G. Navas. 2003. Nuevos registros de peces óseos para el Caribe colombiano de los órdenes Beryciformes, Zeiformes, Perciformes y Tetraodontiformes. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 32:3-24.
- Roa-Varón A., L.M. Saavedra, A. Acero P. y L.S. Mejía. 2007. Nuevos registros de peces para el Caribe colombiano de los órdenes Myctophiformes, Polymiixiformes, Gadiformes, Ophidiiformes y Lophiiformes. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 36:181-207.
- Saavedra L.M. 2000. Ictiofauna del talud superior continental entre 200-500 m desde Castilletes hasta Cartagena en el Caribe colombiano. Tesis Biólogo. Facultad de Biología Marina, Fundación de Bogotá Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta, 343 p.
- Saavedra L.M., A. Acero P. y G.R. Navas. 2000. Lenguados de la familia Paralichthyidae (Pisces: Pleuronectiformes) conocidos del , incluyendo un nuevo registro para el área. *Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 24(91):295-310.
- Saavedra-Díaz L.M., T. Munroe y A. Acero. P. 2003. *Symphurus hernandezii* (Pleuronectiformes: Cynoglossidae), a new deep-water tonguefish from the southern Caribbean Sea off Colombia. *Bulletin of Marine Science*, 72:955-970.
- Saavedra L.M., A. Roa, A. Acero P. y L.S. Mejía. 2004. Primeros registros ícticos en el talud superior del Caribe colombiano (Órdenes Albuliformes, Anguilliformes, Stomiiformes, Atelopodiformes, Aulopiformes y Pleuronectiformes). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 33:159-183.
- Springer S. y G.H. Burgess 1985 Two new dwarf dogsharks (*Etmopterus*, Squalidae), found off the Caribbean coast of Colombia. *Copeia*, 3:584-591.
- Voss G.L. 1966. Narrative cruise P-6607 of the *R/V John Elliot Pillsbury* to the southwestern Caribbean, July 7-22. University of Miami, School of Marine and Atmospheric Science, Miami, Processed Report: 1-39.
- Voss G.L., F.M. Bayer y C.R. Robins. 1967. Bioenvironmental and radiological safety feasibility studies Atlantic-Pacific inter-oceanic canal. Phase I. Report on the marine resources and ecology. Batelle Memorial Institute, Columbus, 143 p.
- Weitzman S.H. 1997: Systematics of deep-sea fishes. 43-77. En: D.J. Randall y A.P. Farrell (Eds.), Deep-sea Fishes. Academic Press, San Diego, 388 p.

## ANEXO

**Anexo 1.** Listado de especies de peces colectados durante las campañas Macrofauna I, II y ANH I, a lo largo del Caribe colombiano. Número de individuos capturados por especie y porcentaje de frecuencia de aparición. Las especies que fueron registradas por primera vez para Colombia están indicadas con un asterisco (\*), aquellas que fueron nuevos registros para el Caribe sur se indican con dos (\*\*\*) y para el Caribe con tres (\*\*).

Taxón	Número de individuos	Porcentaje de Frecuencia
<b>Myxiniformes</b>		
<b>Myxinidae</b>		
<i>Myxine mccoskeri</i> Wisner y McMillan, 1995	46	17,71
<i>Myxine</i> sp.	7	5,21
<i>Paramyxine wayuu</i> (Mok, Saavedra-Díaz y Acero P., 2001)	2	1,04
<i>Quadratus ancon</i> Mok, Saavedra-Díaz y Acero P., 2001	1	1,04
<b>Chimaeriformes</b>		
<b>Chimaeridae</b>		
<i>Hydrolagus alberti</i> Bigelow y Schroeder, 1951	4	4,17
<b>Carcharhiniformes</b>		
<b>Scyliorhinidae</b>		
<i>Scyliorhinus boa</i> Goode y Bean, 1896	2	2,08
<b>Squaliformes</b>		
<b>Etmopteridae</b>		
<i>Etmopterus perryi</i> Springer y Burgess, 1985	3	3,13
<i>Etmopterus schultzi</i> Bigelow, Schroeder y Springer, 1953	9	4,17
<i>Etmopterus</i> sp.	9	4,17
<b>Squatiniiformes</b>		
<b>Squatinaidae</b>		
<i>Squatina dumeril</i> Lesueur, 1818	3	3,13
<b>Torpediniiformes</b>		
<b>Narcinidae</b>		
<i>Diplobatis colombiensis</i> Fechhelm y McEachran, 1984	2	1,04
<i>Diplobatis guamachensis</i> Martín Salazar, 1957	7	3,13
<b>Torpedinidae</b>		
<i>Torpedo nobiliana</i> Bonaparte, 1835	1	1,04
<b>Rajiformes</b>		
<b>Rajidae</b>		
<i>Anacanthobatis americanus</i> Bigelow y Schroeder, 1962	7	5,21
<i>Breviraja nigriventralis</i> McEachran y Matheson, 1985	3	1,04
<i>Dactylobatus clarkii</i> (Bigelow y Schroeder, 1958)	2	2,08
<i>Dipturus bullisi</i> (Bigelow y Schroeder, 1962)	3	3,13
<i>Dipturus garricki</i> (Bigelow y Schroeder, 1958)	1	1,04
<i>Gurgesiella atlantica</i> (Bigelow y Schroeder, 1962)	3	3,13
<b>Rhinobatidae</b>		
<i>Rhinobatos percellens</i> (Walbaum, 1792)	1	1,04
<b>Urotrygonidae</b>		

## Continuación de Anexo 1.

Taxón	Número de individuos	Porcentaje de Frecuencia
<i>Urobatis jamaicensis</i> (Cuvier, 1816)	2	1,04
<b>Albuliformes</b>		
<b>Halosauridae</b>		
<i>Halosaurus ovenii</i> Johnson, 1864 *	17	14,58
<i>Halosaurus</i> sp.	11	3,13
<b>Anguilliformes</b>		
<b>Colocongridae</b>		
<i>Coloconger meadi</i> Kanazawa, 1957	18	9,38
<b>Congridae</b>		
<i>Bathycongrus bullisi</i> (Smith y Kanazawa, 1977)	2	2,08
<i>Bathycongrus dubius</i> (Breder, 1927)	1	1,04
<i>Japonoconger caribbeus</i> Smith y Kanazawa, 1977	2	2,08
<i>Parabathymyrus oregoni</i> Smith y Kanazawa, 1977	2	1,04
<i>Pseudophichthys splendens</i> (Lea, 1913)	10	4,17
<i>Rhynchoconger flavus</i> (Goode y Bean, 1896)	8	2,08
<i>Uroconger syringinus</i> Ginsburg, 1954	2	2,08
<i>Xenomystax austrinus</i> Smith y Kanazawa, 1989	3	2,08
<i>Xenomystax bidentatus</i> (Reid, 1940)*	4	4,17
<i>Xenomystax congroides</i> Smith y Kanazawa, 1989	13	3,13
<b>Moringuidae</b>		
<i>Neoconger mucronatus</i> Girard, 1858	1	1,04
<b>Muraenidae</b>		
<i>Gymnothorax conspersus</i> Poey, 1867 *	2	2,08
<i>Gymnothorax ocellatus</i> Agassiz, 1831	12	2,08
<i>Gymnothorax polygonius</i> Poey, 1875	1	1,04
<b>Nemichthyidae</b>		
<i>Labichthys</i> sp.	1	1,04
<i>Nemichthys scolopaceus</i> Richardson, 1848	1	1,04
<b>Nettastomatidae</b>		
<i>Facciolella</i> sp.	6	6,25
<b>Ophichthidae</b>		
<i>Ophichthus cruentifer</i> (Goode y Bean, 1896) **	2	2,08
<i>Ophichthus puncticeps</i> (Kaup, 1860)	2	2,08
<b>Synaphobranchidae</b>		
<i>Atractodenchelys phrix</i> Robins y Robins, 1970 *	1	1,04
<i>Ilyophis</i> sp.	7	3,13
<i>Synaphobranchus cf oregoni</i> Castle, 1960	1	1,04
<b>Clupeiformes</b>		
<b>Engraulidae</b>		
<i>Anchoa cubana</i> (Poey, 1868) *	1	1,04
<i>Anchoa cf lyolepis</i> (Evermann y Marsh, 1900)	1	1,04

## Continuación de Anexo 1.

Taxón	Número de individuos	Porcentaje de Frecuencia
<b>Pristigasteridae</b>		
<i>Chirocentrodon bleekermanus</i> (Poey, 1867)	7	1,04
<i>Pellona harroweri</i> (Fowler, 1917)	146	2,08
<b>Osmeriformes</b>		
<b>Argentinidae</b>		
<i>Argentina brucei</i> Cohen y Atsides, 1969	17	6,25
<i>Argentina striata</i> Goode y Bean, 1896	115	22,92
<b>Bathylagidae</b>		
<i>Dolicholagus</i> sp.	1	1,04
<b>Microstomatidae</b>		
<i>Xenophthalmichthys danae</i> Regan, 1925 **	1	1,04
<b>Stomiiformes</b>		
<b>Gonostomatidae</b>		
<i>Gonostoma elongatum</i> Günther, 1878 *	7	6,25
<i>Triplophos hemingi</i> (McArdle, 1901) *	9	4,17
<b>Phosichthyidae</b>		
<i>Pollichthys maui</i> (Poll, 1953)*	8	4,17
<i>Polymetme corythaeola</i> (Alcock, 1898)*	6	6,25
<i>Yarrella</i> sp.	1	1,04
<b>Sternoptychidae</b>		
<i>Argyropelecus aculeatus</i> Valenciennes, 1850 *	4	4,17
<i>Argyripnus atlanticus</i> Maul, 1952 **	1	1,04
<i>Polyipnus asteroides</i> Schultz, 1938 *	101	10,42
<i>Polyipnus</i> sp.	4	1,04
<i>Sternoptyx diaphana</i> Hermann, 1781	1	1,04
<b>Stomiidae</b>		
<i>Chauliodus sloani</i> Bloch y Schneider, 1801 *	17	10,42
<i>Stomias affinis</i> Günther, 1887 *	1	1,04
<b>Ateleopodiformes</b>		
<b>Ateleopodidae</b>		
<i>Ijimaia antillarum</i> Howell Rivero, 1935 **	1	1,04
<b>Aulopiformes</b>		
<b>Chlorophthalmidae</b>		
<i>Chlorophthalmus agassizi</i> Bonaparte, 1840*	443	37,50
<i>Parasudis truculenta</i> (Goode & Bean, 1896) *	11	5,21
<b>Ipnopidae</b>		
<i>Bathypterois bigelowi</i> Mead, 1958 *	27	8,33
<b>Synodontidae</b>		
<i>Saurida brasiliensis</i> Norman, 1935	427	19,79
<i>Saurida caribbaea</i> Breder, 1927 *	8	4,17
<i>Saurida normani</i> Longley, 1935	4	4,17

## Continuación de Anexo 1.

Taxón	Número de individuos	Porcentaje de Frecuencia
<i>Saurida</i> sp.	18	2,08
<i>Synodus foetens</i> (Linnaeus, 1766)	6	2,08
<i>Synodus intermedius</i> (Spix y Agassiz, 1829)	1	1,04
<i>Synodus poeyi</i> Jordan, 1887	90	16,67
<i>Synodus saurus</i> (Linnaeus, 1758)	2	1,04
<i>Synodus synodus</i> (Linnaeus, 1758)	3	2,08
<i>Trachinocephalus myops</i> (Forster, 1801)	6	2,08
<b>Myctophiformes</b>		
<b>Myctophidae</b>		
<i>Diaphus garmani</i> Gilbert, 1906	22	6,25
<i>Diaphus lucidus</i> (Goode y Bean, 1896)	4	2,08
<i>Diaphus</i> sp.	6	4,17
<i>Lampadena cf luminosa</i> (Garman, 1899)	1	1,04
<i>Myctophum nitidulum</i> Garman, 1899	4	2,08
<i>Myctophum selenops</i> Taning, 1928	1	1,04
<b>Neoscopelidae</b>		
<i>Neoscopelus macrolepidotus</i> Johnson, 1863 **	154	20,83
<i>Neoscopelus microchir</i> Matsubara, 1943 **	23	9,38
<b>Polymixiformes</b>		
<b>Polymixiidae</b>		
<i>Polymixia lowei</i> Günther, 1859 *	34	16,67
<i>Polymixia nobilis</i> Lowe, 1838 *	4	2,08
<b>Ophidiiformes</b>		
<b>Bythitidae</b>		
<i>Diplacanthopoma brachysoma</i> Günther, 1887 ***	28	14,58
<i>Gunterichthys longipenis</i> Dawson, 1966	10	2,08
<b>Ophidiidae</b>		
<i>Benthocometes</i> sp.	2	1,04
<i>Dicrolene</i> sp.	4	3,13
<i>Lepophidium brevibarbe</i> (Cuvier, 1829)	31	6,25
<i>Lepophidium pheromystax</i> Robins, 1960	12	1,04
<i>Lepophidium cf profundorum</i> (Gill, 1863)	2	2,08
<i>Lepophidium</i> sp. 1	46	8,33
<i>Lepophidium</i> sp. 2	2	1,04
<i>Lepophidium</i> sp. 3	10	7,29
<i>Luciobrotula</i> sp.	1	1,04
<i>Monomitopus</i> sp.	28	4,17
<i>Neobythites gilli</i> Goode y Bean, 1885 *	964	33,33
<i>Neobythites marginatus</i> Goode y Bean, 1886	84	23,96
<b>Gadiformes</b>		

## Continuación de Anexo 1.

Taxón	Número de individuos	Porcentaje de Frecuencia
<b>Bregmacerotidae</b>		
<i>Bregmaceros atlanticus</i> Goode y Bean, 1886	33	16,67
<b>Macrouridae</b>		
<i>Bathygadus macrops</i> Goode y Bean, 1885 *	84	18,75
<i>Bathygadus</i> sp.	12	4,17
<i>Coelorinchus caelorhincus</i> (Risso, 1810)	309	32,29
<i>Coelorinchus caribbaeus</i> (Goode y Bean, 1885)	452	30,21
<i>Coryphaenoides</i> sp.	7	2,08
<i>Hymenocephalus italicus</i> Giglioli, 1884 *	239	27,08
<i>Malacocephalus occidentalis</i> Goode y Bean, 1885 *	69	28,13
<i>Nezumia aequalis</i> (Günther, 1878)	257	32,29
<i>Ventrifossa</i> sp.	2	2,08
<b>Merlucciidae</b>		
<i>Merluccius albidus</i> (Mitchill, 1818) *	2	1,04
<i>Steindachneria argentea</i> Goode y Bean, 1896 *	32	11,46
<b>Moridae</b>		
<i>Gadella imberbis</i> (Vaillant, 1888) *	9	7,29
<i>Laemonema goodebeanorum</i> Meléndez C. y Markle, 1997 *	272	32,29
<i>Physiculus cf fulvus</i> Bean, 1884 *	14	8,33
<b>Batrachoidiformes</b>		
<b>Batrachoididae</b>		
<i>Porichthys pauciradiatus</i> Caldwell y Caldwell, 1963	8	1,04
<i>Porichthys plectrodon</i> Jordan y Gilbert, 1882	118	17,71
<i>Thalassophryne maculosa</i> Günther, 1861	74	6,25
<b>Lophiiformes</b>		
<b>Antennariidae</b>		
<i>Antennarius bermudensis</i> Schultz, 1957	1	1,04
<i>Antennarius pauciradiatus</i> Schultz, 1957	2	1,04
<i>Antennarius radiosus</i> Garman, 1896 *	1	1,04
<i>Antennarius striatus</i> (Shaw, 1794)	11	7,29
<b>Chaunacidae</b>		
<i>Chaunax pictus</i> Lowe, 1846 **	19	11,46
<i>Chaunax suttkusi</i> Caruso, 1989	123	30,21
<b>Diceratiidae</b>		
<i>Bufoferatias wedli</i> (Pietschmann, 1926)	1	1,04
<b>Lophiidae</b>		
<i>Lophiodes monodi</i> (Le Danois, 1971)	4	2,08
<i>Lophiodes reticulatus</i> Caruso y Suttikus, 1979	13	7,29
<i>Lophius gastrophysus</i> Miranda Ribeiro, 1915 *	6	6,25

## Continuación de Anexo 1.

Taxón	Número de individuos	Porcentaje de Frecuencia
<b>Ogcocephalidae</b>		
<i>Dibranchius atlanticus</i> Peters, 1876	184	39,58
<i>Halieutichthys aculeatus</i> (Mitchill, 1818)	87	21,88
<i>Malthopsis gnoma</i> Bradbury, 1998 **	15	5,21
<i>Ogcocephalus nasutus</i> (Cuvier, 1829)	1	1,04
<i>Ogcocephalus parvus</i> Longley y Hildebrand, 1940	1	1,04
<i>Ogcocephalus pumilus</i> Bradbury, 1980	12	5,21
<i>Ogcocephalus</i> sp.	3	3,13
<i>Zalieutes mcgintyi</i> (Fowler, 1952)	57	13,54
<b>Beryciformes</b>		
<b>Holocentridae</b>		
<i>Holocentrus adscensionis</i> (Osbeck, 1765)	1	1,04
<i>Myripristis jacobus</i> Cuvier, 1829	1	1,04
<i>Ostichthys trachypoma</i> (Günther, 1859) *	3	2,08
<b>Trachichthyidae</b>		
<i>Gephyroberyx darwinii</i> (Johnson, 1866) *	2	2,08
<i>Hoplostethus occidentalis</i> Woods, 1973	145	16,67
<b>Zeiformes</b>		
<b>Grammicolepidae</b>		
<i>Xenolepidichthys</i> sp.	6	3,13
<b>Parazenidae</b>		
<i>Cyttopsis rosea</i> (Lowe, 1843) *	36	20,83
<b>Zeniontidae</b>		
<i>Zenion hololepis</i> (Goode y Bean, 1896) *	77	18,75
<b>Gasterosteiformes</b>		
<b>Aulostomidae</b>		
<i>Aulostomus maculatus</i> Valenciennes, 1837	1	1,04
<b>Fistulariidae</b>		
<i>Fistularia petimba</i> Lacepède, 1803	3	2,08
<i>Fistularia tabacaria</i> Linnaeus, 1758	2	2,08
<b>Syngnathidae</b>		
<i>Hippocampus erectus</i> Perry, 1810	1	1,04
<b>Scorpaeniformes</b>		
<b>Dactylopteridae</b>		
<i>Dactylopterus volitans</i> (Linnaeus, 1758)	20	6,25

## Continuación de Anexo 1.

Taxón	Número de individuos	Porcentaje de Frecuencia
<b>Peristediidae</b>		
<i>Peristedion ecuadorensis</i> Teague, 1961	7	5,21
<i>Peristedion gracile</i> Goode y Bean, 1896	31	16,67
<i>Peristedion greyae</i> Miller, 1967	25	16,67
<i>Peristedion longispatha</i> Goode y Bean, 1886	19	10,42
<i>Peristedion miniatum</i> Goode, 1880	18	10,42
<i>Peristedion truncatum</i> (Günther, 1880)	4	3,13
<b>Scorpaenidae</b>		
<i>Neomerinthe beanorum</i> (Evermann & Marsh, 1900)	80	13,54
<i>Phenacoscorpius nebris</i> Eschmeyer, 1965	1	1,04
<i>Pontinus longispinis</i> Goode y Bean, 1896	86	17,71
<i>Pontinus nematophthalmus</i> (Günther, 1860)	37	7,29
<i>Pontinus rathbuni</i> Goode y Bean, 1896	10	3,13
<i>Scorpaena agassizii</i> Goode y Bean, 1896	32	4,17
<i>Scorpaena albifimbria</i> Evermann y Marsh, 1900	1	1,04
<i>Scorpaena bergii</i> Evermann y Marsh, 1900	5	3,13
<i>Scorpaena calcarata</i> Goode y Bean, 1882	36	7,29
<i>Scorpaena isthmensis</i> Meek y Hildebrand, 1928	2	2,08
<i>Setarches guentheri</i> Johnson, 1862	60	15,63
<b>Triglidae</b>		
<i>Bellator brachychir</i> (Regan, 1914)	36	6,25
<i>Bellator egretta</i> (Goode y Bean, 1896)	1	1,04
<i>Bellator ribeiroi</i> Miller, 1965	5	2,08
<i>Prionotus</i> sp.	1	1,04
<i>Prionotus beanii</i> Goode, 1896	28	7,29
<i>Prionotus punctatus</i> (Bloch, 1793)	54	10,42
<i>Prionotus stearnsi</i> Jordan y Swain, 1885	147	14,58
<b>Perciformes</b>		
<b>Acropomatidae</b>		
<i>Neoscombrops atlanticus</i> Mochizuki y Sano, 1984	3	3,13
<i>Synagrops bellus</i> (Goode y Bean, 1896)	177	40,63
<i>Synagrops pseudomicrolepis</i> Schultz, 1940	15	5,21
<i>Synagrops spinosus</i> Schultz, 1940	222	18,75
<i>Synagrops trispinosus</i> Mochizuki y Sano, 1984	58	8,33
<i>Synagrops</i> sp.	23	3,13
<b>Symphysanodontidae</b>		
<i>Symphysanodon berryi</i> Anderson, 1970 *	3	1,04

## Continuación de Anexo 1.

Taxón	Número de individuos	Porcentaje de Frecuencia
<b>Serranidae</b>		
<i>Anthias tenuis</i> Nichols, 1920	1	1,04
<i>Bathyanthias mexicanus</i> (Schultz, 1958)	3	3,13
<i>Bathyanthias</i> sp.	16	6,25
<i>Diplectrum bivittatum</i> (Valenciennes, 1828)	90	14,58
<i>Epinephelus niveatus</i> (Valenciennes, 1828)	1	1,04
<i>Hemanthias aureorubens</i> (Longley, 1935) *	19	11,46
<i>Hemanthias vivanus</i> (Jordan y Swain, 1885)	2	2,08
<i>Plectranthias garrupellus</i> Robins y Starck, 1961 ***	2	1,04
<i>Pronotogrammus martinicensis</i> (Guichenot, 1868)	19	4,17
<i>Rypticus bistrispinus</i> (Mitchill, 1818)	1	1,04
<i>Serraniculus pumilio</i> Ginsburg, 1952	21	2,08
<i>Serranus atrobranchus</i> (Cuvier, 1829)	335	25,00
<i>Serranus chionaraia</i> Robins y Starck, 1961	30	4,17
<i>Serranus flaviventris</i> (Cuvier, 1829)	7	1,04
<i>Serranus phoebe</i> Poey, 1851	4	1,04
<i>Serranus tortugarum</i> Longley, 1935	1	1,04
<i>Serranus</i> sp. 3	1	1,04
<i>Serranus</i> sp. 1	120	9,38
<i>Serranus</i> sp. 2	1	1,04
<b>Grammatidae</b>		
<i>Lipogramma</i> sp.	23	1,04
<b>Opistognathidae</b>		
<i>Lonchopisthus lemur</i> (Myers, 1935)	98	16,67
<i>Lonchopisthus micrognathus</i> (Poey, 1860)	1	1,04
<b>Priacanthidae</b>		
<i>Priacanthus arenatus</i> Cuvier, 1829	5	5,21
<i>Pristigenys alta</i> (Gill, 1862)	3	2,08
<b>Apogonidae</b>		
<i>Apogon affinis</i> (Poey, 1875)	637	7,29
<i>Apogon aurolineatus</i> (Mowbray, 1927)	41	5,21
<i>Apogon pillionatus</i> Böhlke y Randall, 1968	1	1,04
<i>Apogon pseudomaculatus</i> Longley, 1932	29	5,21
<i>Apogon quadrisquamatus</i> Longley, 1934	31	9,38
<i>Apogon robinsi</i> Böhlke y Randall, 1968	1	1,04
<i>Astrapogon alutus</i> (Jordan y Gilbert, 1882)	1	1,04
<b>Epigonidae</b>		
<i>Epigonus occidentalis</i> Goode y Bean, 1896	10	5,21
<i>Epigonus pandionis</i> (Goode y Bean, 1881)	14	8,33
<b>Carangidae</b>		

## Continuación de Anexo 1.

Taxón	Número de individuos	Porcentaje de Frecuencia
<i>Caranx</i> sp.	1	1,04
<i>Chloroscombrus chrysurus</i> (Linnaeus, 1766)	40	3,13
<i>Decapterus tabl</i> Berry, 1968	2	2,08
<i>Selar crumenophthalmus</i> (Bloch, 1793)	1	1,04
<i>Selar</i> sp.	1	1,04
<i>Selene brownii</i> (Cuvier, 1816)	29	5,21
<b>Lutjanidae</b>		
<i>Lutjanus analis</i> (Cuvier, 1828)	1	1,04
<i>Lutjanus synagris</i> (Linnaeus, 1758)	13	6,25
<i>Pristipomoides aquilonaris</i> (Goode y Bean, 1896)	2	2,08
<i>Pristipomoides macrophthalmus</i> (Müller y Troschel, 1848)	8	4,17
<b>Gerreidae</b>		
<i>Diapterus rhombeus</i> (Cuvier, 1829)	22	2,08
<i>Eucinostomus argenteus</i> Baird y Girard, 1855	1	1,04
<i>Eucinostomus gula</i> (Quoy y Gaimard, 1824)	20	4,17
<i>Eucinostomus harengulus</i> Goode y Bean, 1879	7	1,04
<b>Haemulidae</b>		
<i>Haemulon aurolineatum</i> Cuvier, 1830	7	3,13
<i>Haemulon boschmae</i> (Metzelaar, 1919)	1	1,04
<b>Sparidae</b>		
<i>Calamus pennatula</i> Guichenot, 1868	1	1,04
<b>Sciaenidae</b>		
<i>Ctenosciaena gracilicirrhus</i> (Metzelaar, 1919)	78	2,08
<i>Equetus</i> sp.	46	3,13
<i>Isopisthus parvipinnis</i> (Cuvier, 1830)	50	1,04
<i>Larimus breviceps</i> Cuvier, 1830	12	2,08
<i>Macrodon ancylodon</i> (Bloch y Schneider, 1801)	144	2,08
<i>Protosciaena trewavasae</i> (Chao y Miller, 1975)	18	2,08
<i>Sciaena bathytatos</i> Chao y Miller, 1975	1	1,04
<i>Stellifer microps</i> (Steindachner, 1864)	5	2,08
<i>Stellifer</i> sp.	32	1,04
<b>Mullidae</b>		
<i>Pseudupeneus maculatus</i> (Bloch, 1793)	1	1,04
<i>Upeneus parvus</i> Poey, 1852	272	17,71
<b>Bathyclupeidae</b>		
<i>Bathyclupea argentea</i> Goode y Bean, 1896 *	13	8,33
<i>Bathyclupea</i> sp.	2	2,08
<b>Chaetodontidae</b>		
<i>Chaetodon sedentarius</i> Poey, 1860	1	1,04
<b>Pomacentridae</b>		
<i>Chromis insolata</i> (Cuvier, 1830)	1	1,04

## Continuación de Anexo 1.

Taxón	Número de individuos	Porcentaje de Frecuencia
<b>Labridae</b>		
<i>Decodon puellaris</i> (Poey, 1860)	2	1,04
<i>Halichoeres pictus</i> (Poey, 1860)	1	1,04
<i>Halichoeres</i> sp.	1	1,04
<b>Percophidae</b>		
<i>Bembrops anatirostris</i> Ginsburg, 1955	108	32,29
<i>Bembrops gobioides</i> (Goode, 1880)	3	1,04
<i>Bembrops ocellatus</i> Thompson y Suttkus, 1998	22	8,33
<b>Uranoscopidae</b>		
<i>Kathetostoma cubana</i> Barbour, 1941	1	1,04
<b>Labrisomidae</b>		
<i>Starksia nanodes</i> Böhlke y Springer, 1961	1	1,04
<b>Chaenopsidae</b>		
<i>Emblemaria</i> sp.	2	1,04
<b>Callyonimidae</b>		
<i>Diplogrammus pauciradiatus</i> (Gill, 1865)	4	2,08
<i>Foetorepus agassizii</i> (Goode y Bean, 1888) *	2	2,08
<i>Foetorepus</i> sp.	2	1,04
<i>Paradiplogrammus bairdi</i> Jordan, 1888	4	3,13
<b>Gobiidae</b>		
<i>Bollmannia boqueronensis</i> Evermann y Marsh, 1899	18	5,21
<i>Bollmannia</i> sp.	5	4,17
<i>Gobionellus</i> sp.	2	2,08
<i>Varicus</i> sp.	1	1,04
<b>Acanthuridae</b>		
<i>Acanthurus bahianus</i> Castelnau, 1855	1	1,04
<b>Gempylidae</b>		
<i>Diplospinus multistriatus</i> Maul, 1948 **	2	1,04
<i>Neopinnula americana</i> (Grey, 1953) *	4	4,17
<b>Trichiuridae</b>		
<i>Benthodesmus simonyi</i> (Steindachner, 1891) ***	1	1,04
<i>Benthodesmus tenuis</i> (Günther, 1877) ***	16	10,42
<i>Benthodesmus</i> sp.	1	1,04
<i>Trichiurus lepturus</i> Linnaeus, 1758	16	2,08
<b>Stromateidae</b>		
<i>Peprilus paru</i> (Linnaeus, 1758)	43	1,04
<b>Caproidae</b>		
<i>Antigonia capros</i> Lowe, 1843 *	55	16,67
<i>Antigonia combatia</i> Berry y Rathjen, 1959 *	73	15,62
<b>Pleuronectiformes</b>		

## Continuación de Anexo 1.

Taxón	Número de individuos	Porcentaje de Frecuencia
<b>Achiridae</b>		
<i>Achirus lineatus</i> (Linnaeus, 1758)	7	5,21
<i>Gymnachirus nudus</i> Kaup, 1858	1	1,04
<i>Trinectes cf inscriptus</i> (Gosse, 1851)	1	1,04
<i>Trinectes</i> sp.	1	1,04
<b>Bothidae</b>		
<i>Bothus lunatus</i> (Linnaeus, 1758)	15	4,17
<i>Bothus ocellatus</i> (Agassiz, 1831)	25	6,25
<i>Chascanopsetta</i> sp.	1	1,04
<i>Monolene megalepis</i> Woods, 1961	7	5,21
<i>Trichopsetta caribbaea</i> Anderson y Gutherz, 1967	86	12,50
<i>Trichopsetta melasma</i> Anderson y Gutherz, 1967	1	1,04
<b>Cynoglossidae</b>		
<i>Symphurus caribbeanus</i> Munroe, 1991	25	3,13
<i>Symphurus diomedeanus</i> (Goode y Bean, 1885)	2	1,04
<i>Symphurus ginsburgi</i> Menezes y Benvegnú, 1976 ***	7	5,21
<i>Symphurus hernandezi</i> Saavedra-Díaz, Munroe y Acero, 2003	84	5,21
<i>Symphurus marginatus</i> (Goode y Bean, 1886)	240	22,92
<i>Symphurus parvus</i> Ginsburg, 1951	3	2,08
<i>Symphurus pelicanus</i> Ginsburg, 1951	3	3,13
<i>Symphurus piger</i> (Goode y Bean, 1886)	43	13,54
<i>Symphurus tessellatus</i> (Quoy y Gaimard, 1824)	7	3,13
<i>Symphurus</i> sp.	3	3,13
<b>Paralichthyidae</b>		
<i>Ancylopsetta cycloidea</i> Tyler, 1959	6	3,13
<i>Citharichthys cornutus</i> (Günther, 1880)	151	14,58
<i>Citharichthys gymnorhinus</i> Gutherz y Blackman, 1970	8	4,17
<i>Citharichthys macrops</i> Dresel, 1885	1	1,04
<i>Citharichthys spilopterus</i> Günther, 1862	4	1,04
<i>Cyclopsetta chittendeni</i> Bean, 1895	2	2,08
<i>Engyophrys senta</i> Ginsburg, 1933	31	10,42
<i>Etropus crossotus</i> Jordan y Gilbert, 1882	73	4,17
<i>Syacium gunteri</i> Ginsburg, 1933	170	19,79
<i>Syacium micrurum</i> Ranzani, 1842	48	8,33
<i>Syacium papillosum</i> (Linnaeus, 1758)	19	5,21
<b>Poecilopsettidae</b>		
<i>Poecilopsetta inermis</i> (Breder, 1927) *	287	34,38
<b>Tetraodontiformes</b>		
<b>Diodontidae</b>		
<i>Chilomycterus antillarum</i> Jordan y Rutter, 1897	2	2,08
<i>Diodon holocanthus</i> Linnaeus, 1758	1	1,04

## Continuación de Anexo 1.

Taxón	Número de individuos	Porcentaje de Frecuencia
<b>Monacanthidae</b>		
<i>Monacanthus ciliatus</i> (Mitchill, 1818)	4	3,13
<i>Stephanolepis setifer</i> (Bennett, 1831)	9	4,17
<b>Ostraciidae</b>		
<i>Acanthostracion polygonia</i> Poey, 1876	6	4,17
<b>Tetraodontidae</b>		
<i>Lagocephalus lagocephalus</i> (Linnaeus, 1758)	4	2,08
<i>Sphoeroides dorsalis</i> Longley, 1934	22	4,17
<i>Sphoeroides georgemilleri</i> Shipp, 1972	3	3,13
<i>Sphoeroides spengleri</i> (Bloch, 1785)	3	2,08
<i>Sphoeroides cf pachygaster</i> (Müller y Troschel, 1848)	1	1,04
<i>Sphoeroides</i> sp.	1	1,04
<b>Triacanthodidae</b>		
<i>Hollardia</i> sp.	1	1,04
<i>Parahollardia schmidti</i> Woods, 1959 *	10	3,13



## ENSAMBLAJES FAUNÍSTICOS DE LA PLATAFORMA Y TALUD SUPERIOR DEL MAR CARIBE COLOMBIANO

*Gabriel R. Navas S.<sup>1\*</sup>, Martha Patricia Vides Casado<sup>2</sup> y Martha Cecilia Díaz-Ruiz<sup>3</sup>*

1. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – Invemar, Cerro Punta Betín, Santa Marta, Colombia.  
\* Dirección actual: Universidad de Cartagena, Colombia. Correo electrónico: gnavass@unicartagena.edu.co
2. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - Invemar, Programa de Investigación para la Gestión Marina y Costera, Cerro de Punta Betín, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: mvides@invemar.org.co.
3. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - Invemar, Programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos, Museo de Historia Natural Marina de Colombia, Cerro de Punta Betín, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: mardiaz@invemar.org.co

**Figura separador:** Separación por grupos de la macrofauna y megafauna a bordo del B/I Ancón, Expedición ANH I.

## RESUMEN

A partir de datos de abundancia de organismos recolectados en arrastres de fondo de 20 minutos de duración, en 96 estaciones distribuidas a lo largo del mar Caribe colombiano entre 20 y 920 m de profundidad, se elaboraron mapas de distribución de los diferentes taxa mayores, así como de algunos índices ecológicos. Sectores como la parte central de la Guajira a 200 m de profundidad, entre Palomino y Tayrona a 400 m, y entre Archipiélagos coralinos y Darién a 300 m de profundidad, fueron los que presentaron una mayor diversidad. Así mismo, se postula que las colinas son las formas del fondo marino que potencialmente albergan las mayores diversidades. Análisis multivariados de ordenación y clasificación de estaciones fueron empleados para detectar grupos discretos de estaciones los cuales fueron representados espacialmente. Se detectaron catorce conglomerados de estaciones con especies exclusivas y características, los cuales están relacionados con la profundidad y características de las masas de agua. Los resultados indican que las representaciones a gran escala de sustitutos de biodiversidad deben ser interpretadas con precaución, debido a la naturaleza fluctuante del medio marino.

**Palabras clave:** *Megafauna, modelamiento ecológico, margen continental, Caribe, Colombia.*

## ABSTRACT

An unusually large number of macrofaunal samples (96) were taken from the Colombian Caribbean Sea by means of 20 minute bottom trawling, between 20 and 920 m deep. This data set was employed for mayor taxa distribution mapping as well as for ecological indexes distribution analysis. Research has revealed remarkably high levels of biodiversity on Central Guajira (200m), Palomino - Tayrona (400 m) and Archipiélagos corali-

nos - Darién (300 m) sectors. Correspondence analysis allowed inferring that "sea mounts" holds larger relative biodiversity than other seascapes. Multivariate analysis was undertaken to detect discrete groups of sites that were latter mapped. Results revealed the presence of fourteen assemblages within distinctive and exclusive species strongly related to depth and water masses gradients. Large scale biodiversity surrogates are just a first step approach and thus interpretation should be cautionary.

**Key words:** *Macrobenthos, ecological modeling, continental margin, Caribbean, Colombia.*

## INTRODUCCIÓN

Variadas soluciones han sido propuestas a nivel mundial para tratar de reunir, analizar y entender los diferentes componentes biológicos y medioambientales, requeridos para ejercer un adecuado manejo y conservación de la biodiversidad marina frente al creciente aumento de actividades humanas costa afuera (Harding 1997, Day y Roff 2000, Connor *et al.* 2004, Baxter 2008, Hughes *et al.* 2008).

Estos lineamientos comparten la base común de requerir información biológica y ecológica a escala y niveles adecuados, tanto para la actividad como para su manejo (Davies *et al.* 1984, Kingston 1987, Terlizzi *et al.* 2008). La distribución espacial de especies representa la base fundamental para subsiguientes análisis de la investigación biogeográfica (Zajac 2008). Más aún, los ámbitos en los cuales se distribuye una especie son críticos al momento de hacer evaluaciones de conservación y manejo.

Es así que técnicas de análisis y modelación ecológica intentan abordar esta complejidad, utilizando como punto de partida, solo una pequeña selección de grupos faunísticos y el uso de sustitutos de biodiversidad marina (Stevens y Connolly 2004).

Estas técnicas seleccionan propiedades individuales emergentes entre ensamblajes de especies, y su ambiente, que identifican o facilitan el entendimiento de la estructura parcial del sistema marino (Williams *et al.* 2009). No obstante, al momento de responder los diferentes interrogantes planteados es necesario aceptar una serie de supuestos y considerables limitaciones.

Mucha de la ambigüedad en la interpretación dada a la estructuración de ensamblajes de especies y su comportamiento y distribución en los ambientes marinos nace de la naturaleza fluida del océano, donde es casi imposible identificar límites absolutos. Los límites tienden a ser zonas de transición que involucran el movimiento de los organismos y el gradiente de los factores ambientales (Williams *et al.* 2009). Dada esta condición dinámica, las interpretaciones recaen en el conocimiento experto del grupo de investigadores que realizan los estudios.

Además de tratar de reflejar la realidad del medio marino, la detección y modelación de sus ensamblajes permite delimitar y caracterizar áreas que tienen una importancia biológica o ecológica, y estimar el riesgo al que están expuestas cuando se desarrollan actividades industriales, pesqueras o de desarrollo de infraestructura en sus cercanías.

La representación espacial de los diferentes niveles en que se expresa la biodiversidad, puede ser considerada como el primer paso hacia la generación de un lenguaje accesible a administradores y tomadores de decisiones, sirviendo de puente entre la investigación y el manejo de la biodiversidad con miras a su conservación y aprovechamiento sostenible.

Hasta 1995 el conocimiento de la biodiversidad marina en la plataforma y talud de Colombia era producto de algunas colectas realizadas en estaciones en la franja costera por exploraciones oceanográficas extranjeras entre las que cabe resaltar las realizadas con las embar-

caciones ARGO (1875), *Chazalie* (1886), *Velero III* (1934 - 1938), *Pillsbury* (1966 - 1967) y *Oregon* (1969), entre otras (Díaz y Gómez 2000). A partir de 1995 el Invenmar, en asocio con la Universidad Nacional de Colombia y otras entidades, como el Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología, (Colciencias), el Fondo Financiero de proyectos de Desarrollo (Fonade) y la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), iniciaron una activa campaña de exploración sistemática de la plataforma y talud del Caribe colombiano. La información aportada sobre la presencia y abundancia de especies de peces, equinodermos, crustáceos decápodos, moluscos y cnidarios entre los 20 y 920 m de profundidad por las expediciones MACROFAUNA I (1999), MACROFAUNA II (2001) y ANH I (2008), y la caracterización oceanográfica obtenida por la expedición ANH I, la hacen apropiada para aproximarse a la respuesta de preguntas como ¿existen diferencias en la distribución de la diversidad en la plataforma continental y talud del Caribe colombiano?, ¿es posible diferenciar ensamblajes discretos de especies?, ¿si es así, cómo se distribuyen?, ¿se encuentran estos relacionados con variables oceanográficas o ambientales del fondo?

## MÉTODOS

### Niveles de organización biogeográfica

Los ambientes marinos pueden ser descritos, clasificados y/o cartografiados a diferentes escalas jerárquicas que varían entre unos cuantos metros a kilómetros de extensión. La escala en la cual es representado un ambiente marino se refiere tanto a sus dimensiones espaciales como temporales y a los elementos estructurales o de sus procesos (Vierros 2007). En el presente análisis solo se hace referencia al área identificada como Provincia del Mar Caribe (Ideam *et al.* 2007), que incluye tanto el talud como la plataforma continental y se asume una única aproximación temporal que abarca el tiempo total en el que fueron colectadas las muestras (1998-2008).

En el contexto de una de las primeras divisiones marinas propuestas a escala global, el área correspondiente al margen continental de Colombia sobre el Caribe, se ubica dentro del Gran Ecosistema Marino del Caribe, uno de los 64 Grandes Ecosistemas Marinos (Large Marine Ecosystems - LME) de la clasificación MEOW (Marine Ecoregions of the World). El concepto de Gran Ecosistema Marino, nace del legado de sobrepesca, destrucción de hábitats costeros y polución acelerada, revisados en la Agenda 21 de la Convención de Río. Cada Gran Ecosistema Marino se caracteriza por condiciones físicas y biológicas tales como: productividad, rasgos batimétricos, hidrografía, y poblaciones con interdependencia trófica. Incluyen regiones del océano y del espacio costero que abarcan cuencas hidrográficas y se extienden más allá del borde de la plataforma continental, incluyendo los sistemas marginales de corrientes marinas (UNF 2002).

Las Cuencas (Realms en inglés) se definen como grandes regiones del océano (costera, bentónica o pelágica) en las que las biotas son internamente coherentes a niveles taxonómicos superiores, como resultado de una historia evolutiva compartida y única. Albergan altos niveles de endemismo, no sólo a nivel específico, sino también con taxa únicos a nivel genérico y de familia (Spalding *et al.* 2007). Dentro de las Cuencas se diferencian Provincias, las cuales se entienden como grandes áreas definidas por la presencia de distintas biotas que tienen al menos alguna cohesión en escalas de tiempo evolutivo. Las Provincias sostienen algún nivel de endemismo, principalmente a nivel específico. Muchas de estas biotas han surgido como consecuencia de los rasgos abióticos distintivos que restringen sus fronteras; estos pueden incluir rasgos geomorfológicos, hidrográficos o influencias geoquímicas (Spalding *et al.* 2007). En concordancia con este sistema de clasificación global, el área de mar territorial Colombiano sobre el Caribe se ubica en la Cuenca Marina Atlántico Tropical, y a su vez en la Provincia Atlántico Noroeste Tropical.

En un ejercicio de regionalización marina nacional que nace de la necesidad de clasificar los paisajes y ecosistemas costeros y marinos de Colombia a escala 1:500.000 (Ideam *et al.* 2007), el término Provincia adquiere una nueva dimensión espacial. Dentro de dicha clasificación la totalidad de la extensión de mar territorial de Colombia sobre el Caribe recibe la denominación de Región Biogeográfica Marina Atlántico Tropical. Esta región se divide a su vez en dos Provincias: Cayos y Bancos y Mar Caribe. Los límites de estas provincias fueron definidos teniendo en consideración la diferenciación por geformas. En el caso de la Provincia Mar Caribe, donde se ha llevado a cabo la recolección de muestras biológicas que aquí se analizan, se diferencian tres Ecozonas: Cuenca Colombia, Plataforma Continental del Caribe y Talud Caribáná.

La Ecozona, un término utilizado originalmente para describir grandes divisiones regionales del océano canadiense (Harding 1997) a partir de las características fisiográficas generales del lecho marino, se ha adaptado a las circunstancias nacionales para delimitar regiones del lecho marino uniformes fisiográficamente dentro de cada una de las provincias, las cuales corresponden a características geomorfológicas relevantes (Ideam *et al.* 2007).

El siguiente nivel de clasificación denominado como Ecorregión marina, es la unidad más pequeña de la clasificación. En términos ecológicos, estas son unidades fuertemente cohesivas y suficientemente extensas para contener procesos ecológicos o de historia de vida de la mayoría de la fauna bentónica sésil. Estas unidades biogeográficas son utilizadas a lo largo del presente capítulo (Figura 1) como referente espacial del análisis (Díaz y Gómez 2000, Díaz y Acero 2003).

Dentro de la ecozona Plataforma Continental del Caribe se identifican ocho ecorregión (Figura 1): Guajira – GUA, Palomino – PAL, Tayrona – TAY, Magdalena – MAG, Archipiélagos Coralinos – ARCO, Morrosquillo – MOR, Darién – DAR y Caribe oceánico - COC.

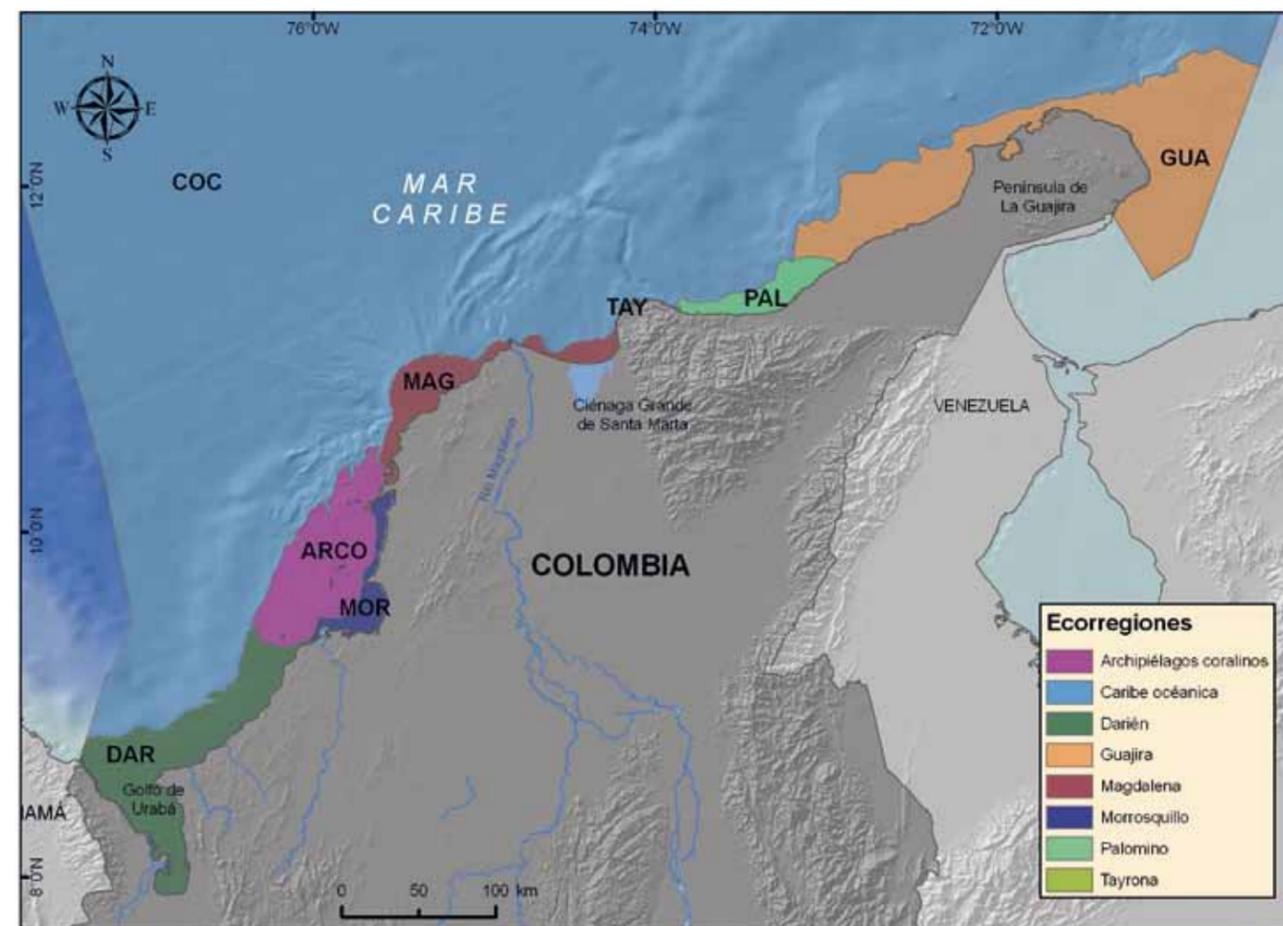


Figura 1. Representación espacial de las Ecorregiones descritas para el Caribe Colombiano.

### Estimación de la riqueza de especies, abundancia y diversidad

Para cada estación se tabuló la abundancia de organismos a nivel taxonómico específico referida a 20 minutos de arrastre usando la plataforma *Access*, desde la cual los datos fueron exportados para los análisis posteriores.

La riqueza estimada de peces e invertebrados (equinodermos, crustáceos decápodos, moluscos y cnidarios) se obtuvo mediante el estimador Mao Tau usando el software *EstimateS* 8.2 (Colwell 2005). Este estimador permite comparar visualmente la riqueza entre dos o más sitios o grupos de organismos, indicando el que poten-

cialmente presenta una mayor riqueza esperada con un intervalo de confianza del 95% (Gotelli y Colwell 2001).

Mediante el software *Primer* para Windows versión 6.1.7 (Clarke y Warwick 2001), se obtuvieron los siguientes índices de diversidad:

Riqueza (S) entendida como número total de especies (Magurran 1988) en este caso referida a 20 minutos de arrastre; entre más especies hayan sido recolectadas por estación mayor será su riqueza (Figura 2).

Abundancia (N), porcentaje de individuos recolectados en una estación con respecto al total de individuos (Figura 2).

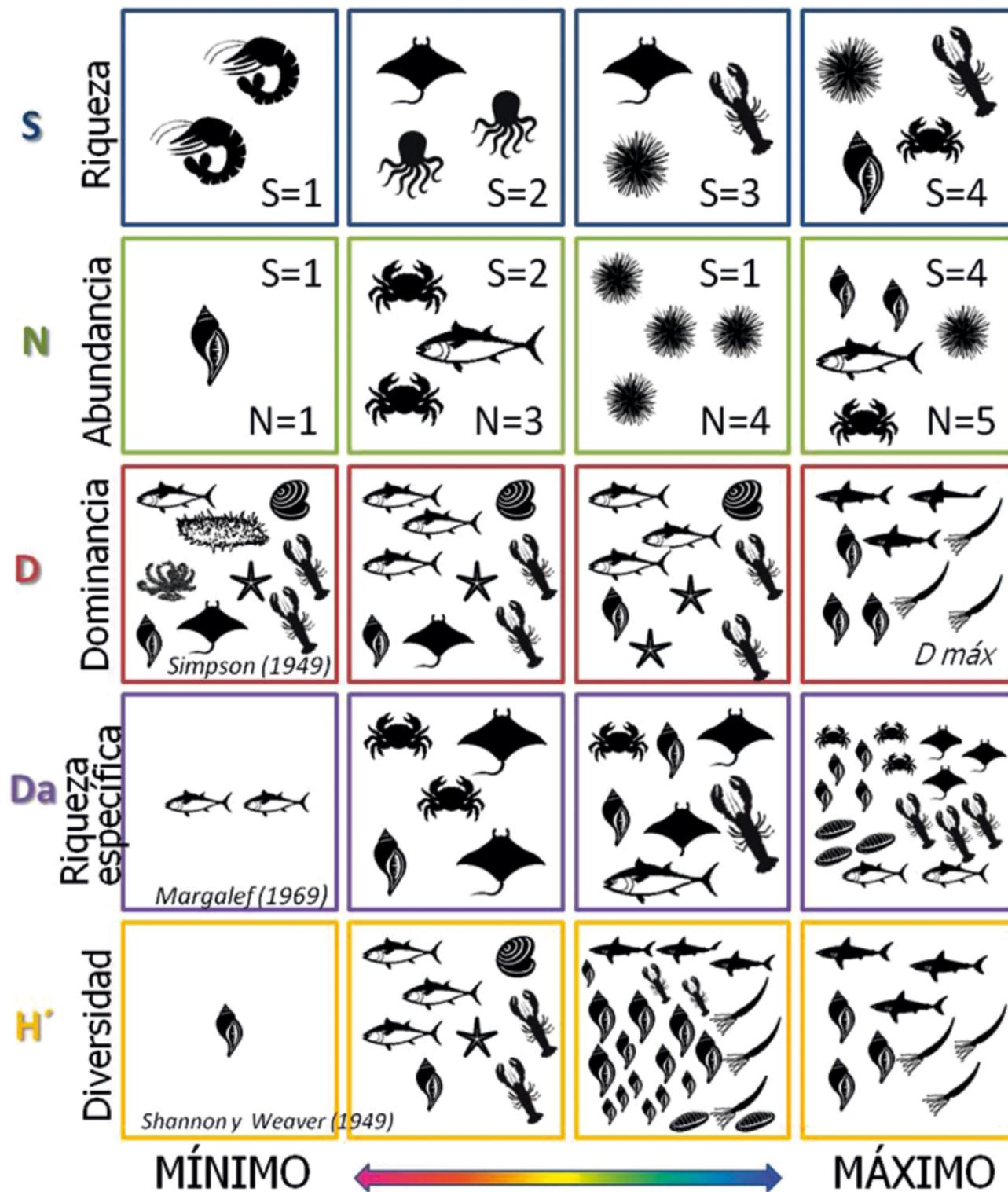


Figura 2. Representación esquemática de algunos índices de riqueza específica y diversidad. S: número de especies, N: Número de individuos.

Dominancia relativa de especies (D) medida a través del índice de Simpson (1949). El índice de Simpson ( $\lambda$ ) considera la proporción de una especie en relación al total de especies elevado al cuadrado. Su cálculo determina la probabilidad de que extrayendo de una muestra dos individuos al azar, los dos fuesen de la misma especie. En el estimador de dominancia relativa ( $D=1-\lambda$ ), mientras mayor sea su valor, mayor será la dominancia (inverso al de índice de Simpson) (Figura 2).

El índice de Margalef (1958) ( $Da = (S-1) \log N^{-1}$ ), en donde N es igual a la abundancia y S al número de especies, representa la riqueza de especies pero en función del número total de individuos por sitio de recolecta. Mientras mayor sea su valor, mayor será la riqueza (Figura 2).

Por último, el índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) (Shannon y Weaver 1949), el cual mide el contenido de información por símbolo de un mensaje compuesto por S clases de símbolos discretos cuyas probabilidades de ocurrencia son  $p_1 \dots p_S$ . El índice  $H'$  toma valores de cero cuando hay una sola especie y su valor máximo es igual a  $\log_2 S$  cuando todas las especies tienen igual abundancia (Figura 2).

Al igual que la abundancia de organismos, los valores de los índices ecológicos para cada estación fueron almacenados usando la plataforma Access, la cual permite una fácil integración con el programa para proceso geoespacial ArcMap (ESRI 2004). Este último fue empleado para representar espacialmente dichos valores mediante mapas de puntos proporcionales.

### Riqueza de especies por formas del fondo marino

Las formas del fondo marino sobre la plataforma y talud fueron delimitadas geográficamente con base en información batimétrica, utilizando la extensión *Benthic Terrain Modeler* (Wright *et al.* 2005) de la plataforma ArcGIS (ESRI 2004). El proceso se deriva de la estimación de un índice de posición batimétrica conocido como

BPI (por sus siglas en inglés, Benthic Position Index). El BPI es una medida de la ubicación de un pixel que se compara en forma relativa a su posición frente a los que se encuentran a su alrededor. Este proceso permite diferenciar entre zonas cóncavas, convexas, planas o de pendientes, a las cuales se les puede asignar un nombre que permite su diferenciación.

La nomenclatura utilizada para nombrar las formas del fondo empleadas en este estudio se basó en la propuesta por la Organización Hidrográfica Internacional y la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (IHO-IOC 2001), y se presenta a continuación:

**Meseta/Colina:** Elevación o grupo de elevaciones aisladas, menores a 1000 m en relieve por encima del fondo marino, cuya cima es relativamente plana.

**Depresión submarina:** Concavidad profunda, relativamente angosta y de paredes abruptas, cuyo fondo generalmente se hace más profundo de forma continua.

**Falda:** Superficie de débil pendiente, de génesis esencialmente sedimentaria, en la base de una pendiente más pronunciada.

**Escarpe:** Pendiente submarina, característicamente lineal, muy abrupta y alargada, que divide zonas llanas o con suave pendiente del fondo marino en zonas que no son *plataformas*.

**Plataforma:** Zona adyacente a un continente (o rodeando una isla) que se extiende desde la línea de bajamar hasta una profundidad en la que generalmente hay un incremento marcado de las pendientes hacia las profundidades oceánicas.

**Orla continental:** Línea a lo largo de la cual hay un marcado aumento de la pendiente en el margen de mar afuera de una *plataforma continental*.

**Llanura:** Zona llana, extensa, sub horizontal o de escasa pendiente.

**Llanura abisal:** Llanura sobre la zona abisal.

**Falda continental:** Superficie de débil pendiente, de génesis esencialmente sedimentaria, en la base de una pendiente más pronunciada.

**Terraza:** Zona relativamente plana, horizontal o ligeramente inclinada, a veces larga y angosta, limitada por una pendiente ascendente en un lado y por otra pendiente descendente más marcada en el lado opuesto.

**Falda abisal:** Falda sobre la zona abisal.

**Valle submarino:** Depresión ancha y relativamente poco profunda cuyo fondo generalmente presenta un gradiente continuo.

Para cada estación se determinó el tipo de forma correspondiente. Los valores de riqueza (S), abundancia (N), dominancia relativa de especies (D), índice de Margalef (Da) e índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') obtenidos para cada una de las formas fue comparado gráficamente utilizando gráficas «boxplot», en las cuales los límites de la caja indican los cuartiles 1 y 3; la línea central marca la media, y la extensión de las líneas marcan los valores máximos y mínimos. La riqueza estimada de especies entre formas, tanto para peces como para invertebrados, fue comparada mediante la comparación visual de curvas del estimador MAO TAU (Estimate S 8.2).

EstimateS usa un algoritmo de aleatorización para obtener el promedio aproximado de las especies colectadas (Sobs) que mediante la comparación de los valores estimados de los índices, permite conocer qué porcentaje de la diversidad estimada del medio de estudio ha sido recogida en el muestreo realizado. El estimador Mao Tau permite comparar visualmente la riqueza entre dos o más sitios, a través de curvas de acumulación

de especies, ofreciendo intervalos de confianza de hasta un 95 %; entre más elevada se encuentre la curva, mayor será la riqueza en cada forma.

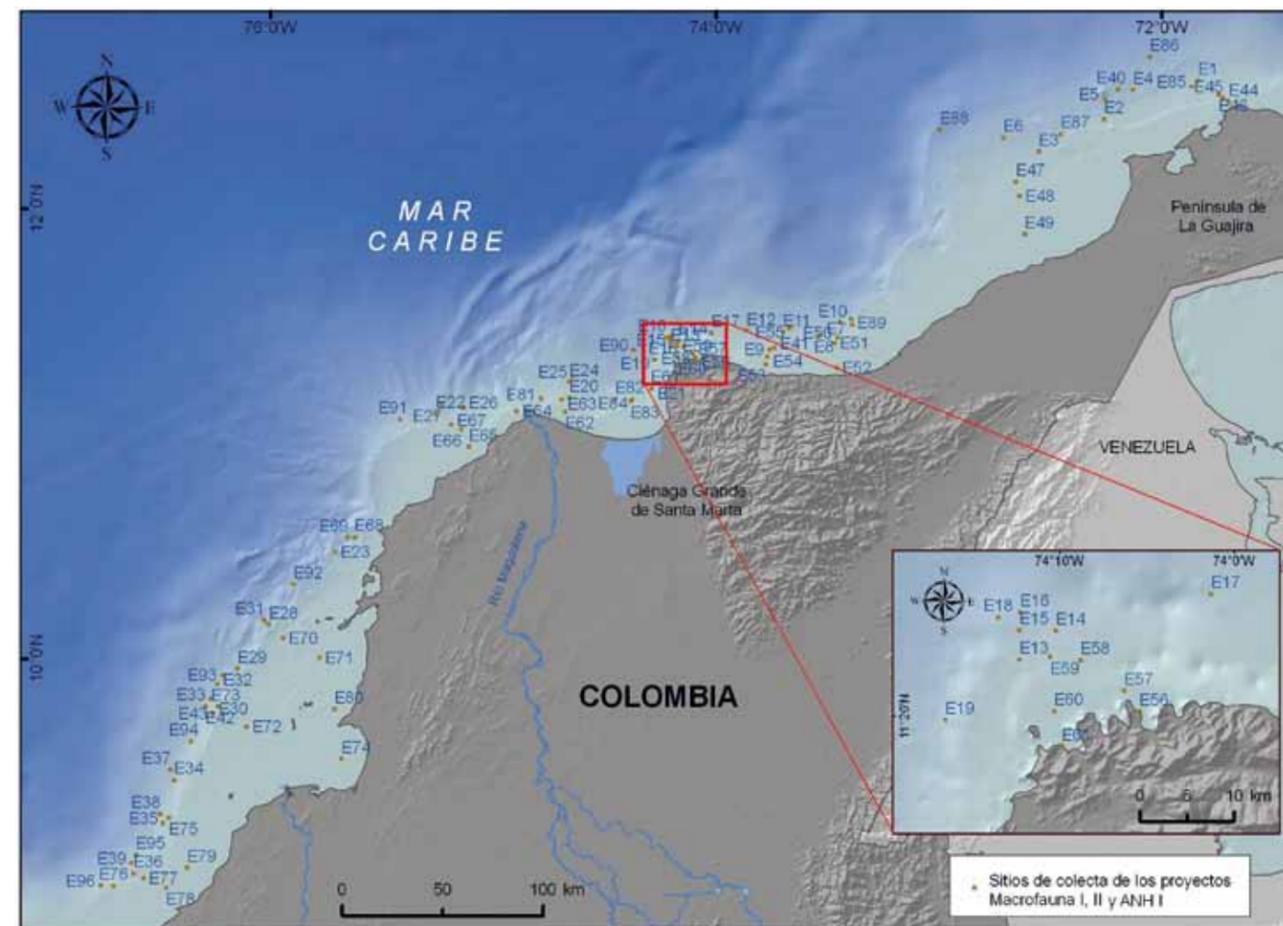
Se determinó la concentración de la abundancia de cada especie en cada forma (porcentaje de abundancia en la forma con respecto a la abundancia total de la especie) y su frecuencia de aparición (porcentaje de presencia de la especie en las estaciones de una forma en particular en relación al total de estaciones con esa forma). Especies recolectadas únicamente en una forma (100% de concentración de abundancia) fueron consideradas como *distintivas* de la forma del fondo correspondiente. Si el porcentaje de concentración de la abundancia esta superior al 70 % y la frecuencia de aparición fue mayor al 20 % fueron consideradas *representativas*.

### Caracterización de ensamblajes

La detección de ensamblajes se obtuvo a partir de la afinidad de las estaciones inferida a partir de la abundancia de las especies en 20 min de arrastre (Figura 3). Con el fin de equilibrar la influencia sobre los resultados de las especies más y menos abundantes se determinó como más apropiada la transformación de las abundancias mediante raíz cuarta, transformación determinada por medio de la prueba de Taylor (Taylor *et al.* 1980).

Los análisis multivariados fueron realizados con herramientas del programa Primer. La similitud entre estaciones, fue calculada con base en las especies presentes y sus abundancias transformadas, empleando la versión del índice de similitud de Bray-Curtis incorporada en Primer (Yoshioka 2008). La matriz fue empleada inicialmente para realizar un escalamiento multidimensional no métrico con 100 reinicios y posteriormente una clasificación empleando la estrategia de unión promedio ponderado.

Los grupos encontrados fueron separados por profundidad. Se consideraron como estaciones aisladas aque-



**Figura 3.** Localización de las estaciones de recolecta de organismos de la megafauna en los proyectos Macrofauna I, Macrofauna II y ANH I entre 1998 y 2008. El recuadro amplía la zona del Tayrona para una mejor visualización de los puntos.

llas que presentaron abundancias y riqueza bajas y/o no mostraron una clara agrupación en los análisis de clasificación y ordenación. Aquellas estaciones individuales con una composición faunística particular fueron consideradas como un conglomerado independiente.

Es importante atender al hecho de que los datos de riqueza y abundancia fueron obtenidos irregularmente en el tiempo y con una distribución espaciada a lo largo del Caribe colombiano, de tal forma que los resultados mostrados brindan solo un indicativo general de los posibles ensamblajes de organismos presentes y su distribución.

Con el objetivo de identificar las especies exclusivas y características de cada uno de los ensamblajes postula-

dos se realizó un análisis de abundancia y frecuencia de cada una de ellas (análisis inverso). Fueron consideradas como exclusivas aquellas especies que presentaron el 100 % de su abundancia en un determinado ensamblaje, y como características aquellas que alcanzaron un valor superior al 70 % y una frecuencia de aparición en las estaciones de cada ensamblaje superior al 70 %.

La relación entre los ensamblajes y la profundidad fue determinada empleando la profundidad de arrastre (m). Con la posición geográfica se empleó la distancia entre estaciones, la cual fue estimada con respecto a la estación más nororiental de los muestreos mediante el programa Global Mapper versión 9 (Global Mapper Software LLC 2007). Las ecorregiones y paisajes asignados a cada esta-

ción, con base en su posición geográfica, fueron los establecidos con base en el mapa de ecosistemas continentales, marinos y costeros de Colombia (Ideam *et al.* 2007).

Debido a la casi inexistencia y/o accesibilidad a datos oceanográficos de la columna de agua del Caribe colombiano a profundidad, la información oceanográfica para discutir la conformación y distribución de ensamblajes fue obtenida de la estación más cercana a donde se realizaron los arrastres en las estaciones de muestreo de la exploración ANH I, y a la profundidad de arrastre. Para esto es necesario asumir que a las profundidades en que se realizaron los arrastres no se presentan fuertes variaciones espaciales, anuales o interanuales en las características de las masas de agua. Fueron empleados los valores de temperatura (°C), salinidad, porcentaje de saturación de oxígeno (O<sub>2</sub> %), densidad (Sigma T) y concentración de clorofila (µg/l), los cuales fueron medidos mediante una sonda multiparametros CTDO (General Oceanics Ocean Seven 316 plus-CTD). Se asumió que estas variables, aunque correlacionadas entre sí, influenciaban de manera diferente a las especies presentes. La correlación entre ensamblajes y variables se realizó por medio de un procedimiento Bio-Env en PRIMER. Un gráfico de dispersión de puntos (Drasftman-plot) (Clarke y Gorley 2006) fue empleado para determinar las variables que deberían ser transformadas, de tal forma que solo fue necesario transformar mediante raíz cuarta la concentración de clorofila (µg/l). Los datos de las variables fueron normalizados y la similaridad fue calculada mediante la distancia euclidiana; la correlación fue obtenida a través del método de correlación de rangos de Spearman con 999 permutaciones.

Teniendo en consideración los grupos y conglomerados de especies obtenidos en el análisis, se elaboraron mapas síntesis de información para tratar de determinar patrones de distribución espacial de los ensamblajes definidos, haciendo uso de la representación en puntos mediante el programa para proceso geoespacial ArcMap (ESRI 2004).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis incluyeron 84781 ejemplares de 1516 especies de peces, briozoos, equinodermos, crustáceos decápodos, moluscos y cnidarios encontrados en 96 estaciones que cubren un ámbito batimétrico entre 20 y 920 m de profundidad (Anexo I).

Las estaciones se distribuyeron sobre 16 paisajes marinos en las ecorregiones costeras Guajira, Palomino, Tayrona, Magdalena, Archipiélagos Coralinos, Morrosquillo y Darién, y en la ecorregión Caribe Oceánico (Figura 1); las cuales fueron consideradas como pertenecientes a la ecorregión costera frente a la cual estaban ubicadas.

La mayor riqueza la presentaron Guajira (52 % del total de las especies), Tayrona (43 %), Palomino (42 %), Archipiélagos coralinos (39 %), y Magdalena (39 %). Morrosquillo y Darién fueron las ecorregiones menos ricas (9 y 30 %); haciendo la salvedad de que estas ecorregiones tuvieron un menor esfuerzo de muestreo, este resultado puede ser el reflejo de la fuerte influencia de aguas continentales a las cuales están sometidas; también puede ser el reflejo de su menor heterogeneidad del fondo marino. Ecorregiones como Palomino y Magdalena están surcadas por cañones submarinos, ésta última alberga además bancos de corales de profundidad sobre fondos duros, mientras que Archipiélagos Coralinos presenta las comunidades coralinas asentadas sobre domos diapíricos. Todas estas estructuras posibilitarían una mayor disponibilidad de hábitats de diferentes tipos, posibilitando la existencia de una mayor cantidad de especies.

### Ocurrencia de especies

Si se analiza la ocurrencia de las especies a lo largo de las estaciones, un 35 % del total, en su mayoría moluscos (13%), han sido halladas en una única estación, y todas las especies, a excepción del decápodo *Portunus spinicarpus* (hallado en 51 de las 96 estaciones), están presentes en menos de la mitad de las estaciones.

La estación E51 en la ecorregión Palomino (Figura 3) es la que más contribuye a la riqueza total con 198 especies, aportando un 5% a la abundancia de la megafauna. Este sector se caracteriza por ser una zona de transición entre la plataforma y el talud, donde las condiciones de temperatura y salinidad cambian rápidamente en dependencia de la profundidad. Estas mismas condiciones son compartidas con las estaciones E48, E73 y E45 que le siguen en términos de riqueza de especies (154, 147 y 120 especies respectivamente).

La riqueza estimada de grupos mayores, excluyendo los briozoarios, podría alcanzar poco menos de 2500 especies si se duplicara el esfuerzo de captura en el área, como lo muestra el análisis de la curva del índice MAO TAU (Figura 4). A medida que el número de estaciones aumenta se incrementa el total estimado de la riqueza, lográndose estabilizar alrededor de 160 estaciones.

La especie que alcanzó la mayor abundancia durante todos los muestreos (9585 individuos), el bivalvo *Limopsis sulcata*, representó el 11 % del total de ejemplares capturados, principalmente entre los 370 y 550 m de profundidad en las estaciones ubicadas en el norte y centro del Caribe colombiano. La siguieron en abundancia, el

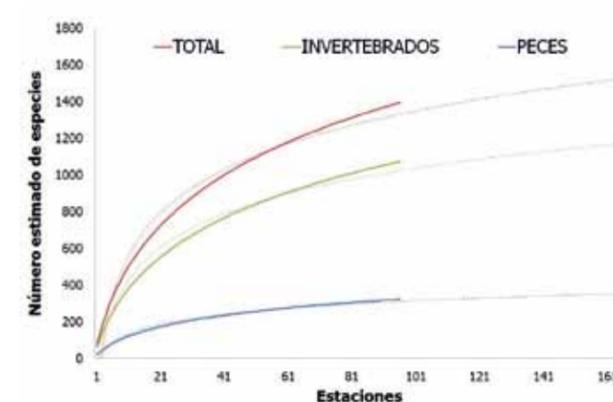


Figura 4. Curva de acumulación de especies (MAO TAU) para el total de especies y grupo de peces e invertebrados.

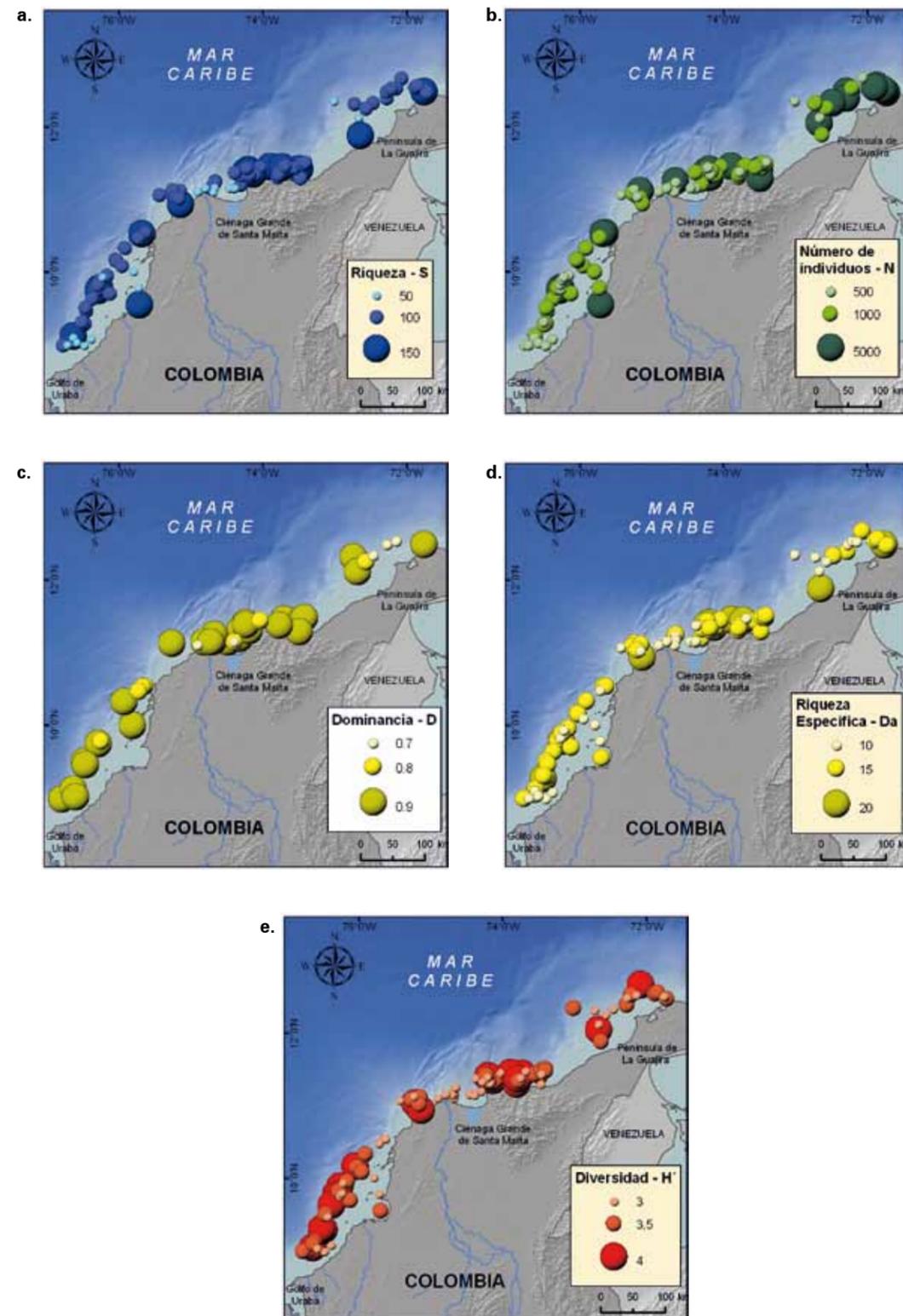
decápodo *Penaeopsis serrata* con 2997 individuos entre los 200 y 330 m de profundidad a lo largo de Caribe colombiano; el ofiuro *Ophiocamax fasciculata* con 1858 individuos entre los 370 y 550 m especialmente en el norte y centro del Caribe colombiano; y *Deltocyathus calcar*, coral solitario asentado sobre fondos blandos con 1832 individuos principalmente entre los 200 y 330 m de profundidad en toda el área estudiada.

### Riqueza, abundancia y diversidad

La Figura 5, muestra la representación de los índices de riqueza - *S*, abundancia - *N*, dominancia - *D*, riqueza específica - *Da* y diversidad - *H'*, calculados para cada una de las estaciones donde se realizaron recolectas de organismos.

En términos relativos se observa una mayor abundancia ( $N > 1000$ ) en el sector Guajira norte, Palomino, Tayrona, Áreas coralinas y Golfo de Morrosquillo. Un 73 % de las estaciones que contribuyen a esta alta abundancia (23 en total) se encuentran a profundidades mayores a 150 m. Un 30 % de las estaciones que concentran la mayor riqueza (18 estaciones,  $S > 100$ ), también tienen una alta abundancia. Esta riqueza está representada primordialmente por moluscos, crustáceos y equinodermos. La riqueza de peces no resulta significativa en términos relativos en estas estaciones.

Los mayores valores de riqueza y diversidad son consistentes con aquellas estaciones donde se han colectado especies asociadas a "corales de agua fría" con capacidad de formar estructuras arrecifales (Cordes *et al.* 2008). Estas se ubican en el sector de Palomino E51 ( $S = 197$ ,  $H' = 3,48$ ), sur de La Guajira E48 ( $S = 153$ ,  $H' = 3,84$ ) y frente al Golfo de Morrosquillo E73 ( $S = 146$ ,  $H' = 2,68$ ). Los mayores valores de riqueza específica se concentran en el sector sur de la Guajira (E51,  $Da = 23,23$ ) a casi 400 metros de profundidad (Figura 5). Si bien una estructura coralina conspicua no ha sido encontrada, la colecta de especies asociadas a la formación de ambientes



**Figura 5.** a-e. Distribución de la riqueza, abundancia, dominancia, riqueza específica y diversidad en cada una de las estaciones a lo largo del Caribe colombiano.

coralinos de profundidad (Lattig y Reyes, 2008), es un incentivo para realizar investigaciones más exhaustivas en esta área.

### Composición y distribución de grandes grupos taxonómicos

Es bien sabido que la distribución espacial de las poblaciones marinas puede extenderse más allá de sus fronteras aparentes y que ensamblajes considerados como característicos, son reemplazados a través del tiempo en respuesta a los cambios en las condiciones ambientales. En este sentido la delimitación de ambientes o selección de sitios con alta diversidad, resulta una tarea compleja y depende estrechamente de la escala de observación (Harding 1997). Sin embargo, la necesidad de representar estas interacciones de forma explícita como insumo a la planificación marina, impulsa el desarrollo de técnicas de caracterización, clasificación y cartografía de los diferentes ambientes, tanto de la columna de agua como del fondo marino mediante sustitutos de biodiversidad, que permiten aproximarse a una representación sucinta como base para su manejo (Costello y Berghe 2006).

La distribución de cada uno de los grupos mayores a lo largo del Caribe puede ser observado en la (Figura 6). El ícono utilizado representa el grupo con mayor abundancia en cada una de las estaciones. El tamaño variable del ícono representa este valor de abundancia en términos relativos a las demás estaciones (96 en total).

En general los moluscos, peces y crustáceos decápodos, fueron los grupos con el mayor número de especies (31, 21 y 18 %, respectivamente). Por su parte la mayor abundancia la presentaron los moluscos y crustáceos (30 y 24 %), seguidos por los equinodermos y peces (21 y 14 %). Moluscos, peces y crustáceos son grupos abundantes y ricos en especies en los fondos marinos en los diferentes océanos, los cuales colonizan gracias a su capacidad de adaptación (Abele 1982, Nelson 2006, Ponder y Lindberg 2008).

Los cnidarios fueron el grupo con menor abundancia (9 %) y los briozoos el grupo con menor riqueza (8 %). Éstos últimos no se tuvieron en cuenta para la obtención de los datos de abundancia, debido a la dificultad en la determinación del número de individuos.

Cada grupo mayor se distribuye espacialmente al parecer de forma distinta, siendo algunos grupos considerados generalistas en términos de distribución a lo largo de todo el Caribe como los equinodermos o de diferenciación entre norte y el sur como los crustáceos decápodos. De igual forma en este último grupo, se observa una diferenciación en términos de riqueza con el gradiente de profundidad (Figura 6).

La dominancia de grandes grupos muestra diferencias en la distribución a lo largo del área, aunque sin un patrón claro establecido, probablemente por la escala de trabajo.

Los resultados obtenidos soportan la reconocida elevada riqueza específica de la *Provincia Atlántico Noroeste Tropical*, extendiéndola hasta los 900 m de profundidad.

Se ha postulado como origen de esta elevada riqueza la compleja historia geológica del Caribe que ha generado una plataforma continental mucho más amplia y variable y con mayores rasgos geológicos, lo que probablemente genera ambientes óptimos, a distintas profundidades, para el asentamiento de una mayor cantidad de especies. Además, en el Caribe los organismos han tenido varios patrones de colonización y extinción por causa del enfriamiento del océano en las glaciaciones (Brown y Lomolino 1998).

### Caracterización de las formas del fondo

Las formas del fondo del Caribe colombiano fueron delimitadas usando como parámetros la profundidad y la relación en los cambios de pendiente y altura relativa (Figura 7).

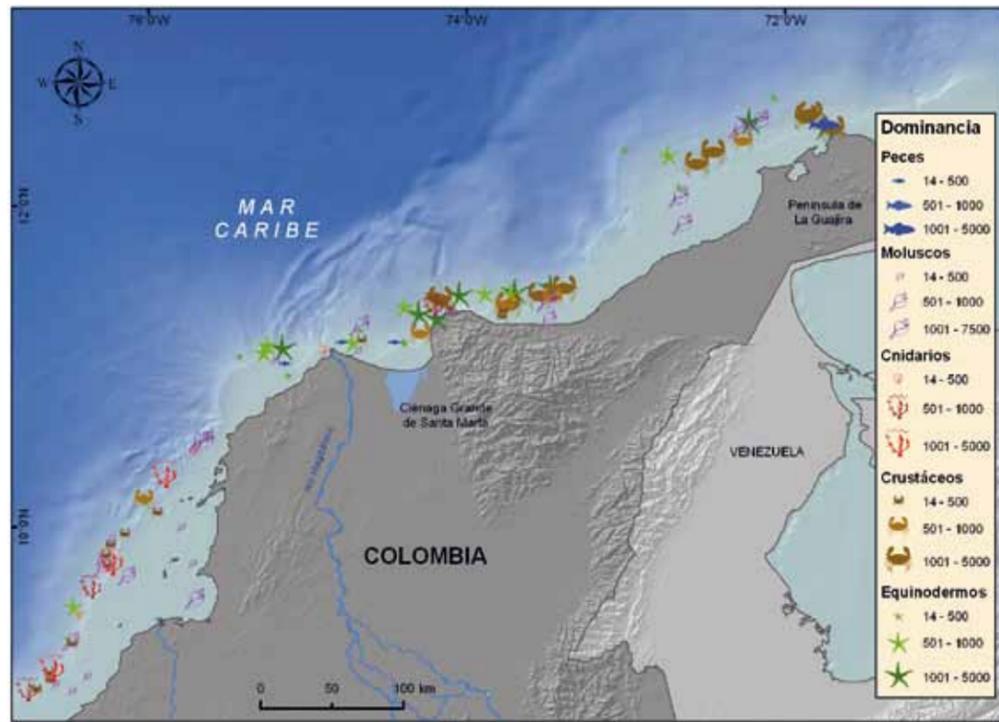


Figura 6. Representación de la distribución y proporción de la dominancia en términos de abundancia de especies por grandes grupos taxonómicos.

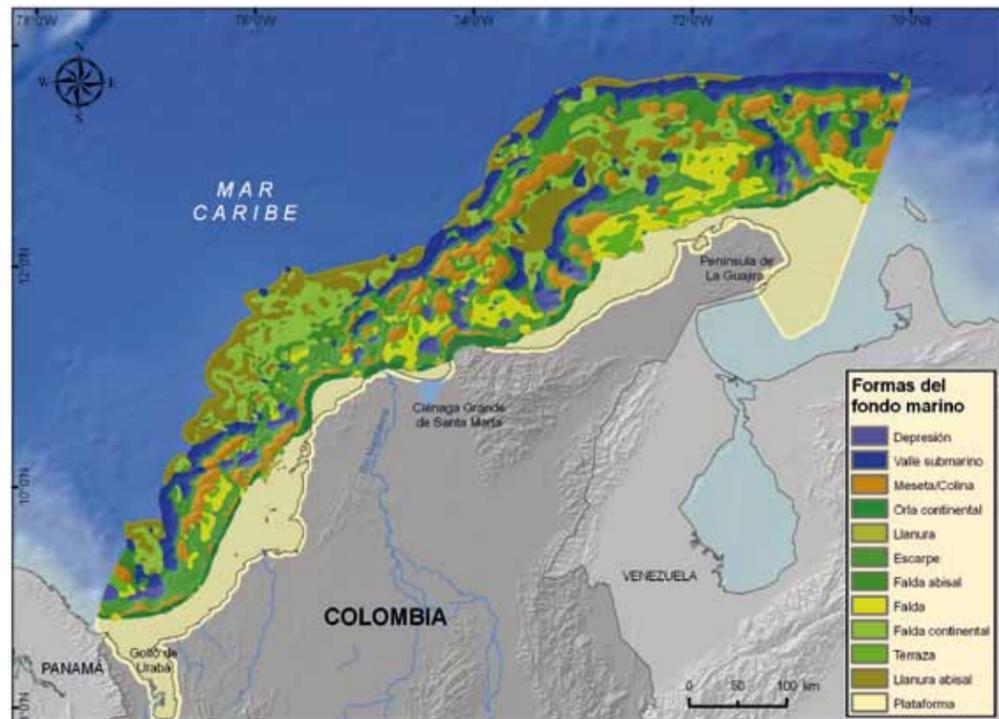


Figura 7. Interpretación de las formas del fondo marino.

Del total de 12 formas del fondo representadas en la Provincia Mar Caribe, solo en ocho han sido recolectadas muestras de megafauna: depresión, escarpe, falda, llanura, meseta/colina, orla continental, plataforma y terraza.

En términos generales se observa que la llanura alberga la mayor riqueza entre las formas, seguida por las mesetas/colinas (Figura 8). Sin embargo, si se considera el número de muestras recolectadas sobre cada forma y se analizan estos resultados en referencia al área, se observa que las mesetas y colinas concentran la mayor proporción de la riqueza.

Sobre la forma denominada como Depresión, fueron recolectados 1974 individuos distribuidos en 154 espe-

cies de megafauna de los grupos principales. La raya *Breviraja nigriventralis*, una anguila tijera *Nemichthys scolopaceus* y el molusco cónido *Thatcherina diazi*, fueron recolectados de manera exclusiva sobre esta forma, sin embargo su poca abundancia no permite caracterizarlas como distintivas de esta (<70%).

La mayor cantidad de muestreos fueron realizados sobre escarpes; en total 28 de las 96 estaciones. Se encontraron 569 especies de las cuales 87 pueden ser catalogadas como distintivas de esta geoforma, siendo *Plesionika laevis* (camarón), *Peristedion truncatum* (pez) y *Pteraster militarioides militarioides* (estrella) las más dominantes (11 %) dentro del grupo. En total, 20 especies son representativas de esta forma, entre las que se destacan

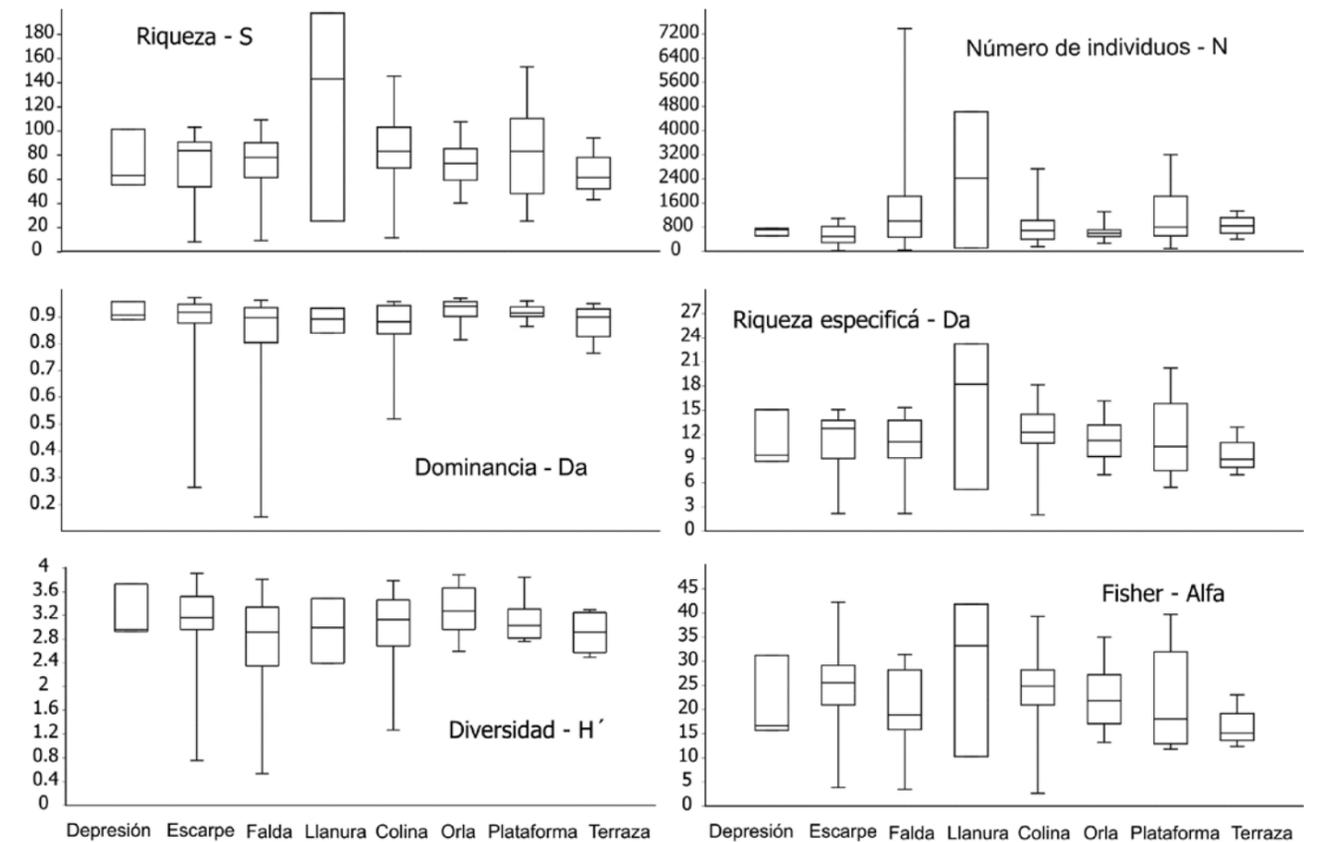


Figura 8. Comparación de abundancia, riqueza, riqueza relativa, diversidad y uniformidad de las especies recolectadas sobre las ocho formas del fondo. Los límites de la caja indican los cuartiles 1 y 3, la línea central marca la media, y la extensión de las líneas marcan los valores máximos y mínimos.

*Glyphocrangon longleyi* (crustáceo) y *Poromya margarita* (bivalvo) con 32 % de dominancia dentro del grupo, además de los bivalvos *Euciroa elegantissima* y *Myonera paucistriata* con el 21 %.

Del total de especies recolectadas en 15 sitios de muestreo sobre faldas, 45 se clasificaron como distintivas. Con un 20 % de dominancia relativa, una especie de cangrejo ermitaño del género *Tomopaguropsis*, se presume preferente de este tipo de formas.

Si bien solo se recolectaron muestras en tres estaciones sobre llanuras (E51, E45, E77), y pese al hecho de que presentan una poca extensión en comparación con las demás formas, éstas presentaron una alta riqueza relativa (294 especies), 41 especies fueron recolectadas exclusivamente sobre llanuras, sin embargo solo fueron encontradas en una sola de las tres estaciones. Se destaca *Analcidometra armata* (estrella quebradiza) por presentar el mayor número de individuos recolectados en una sola estación (945 individuos).

Del total de 649 especies recolectadas en 21 estaciones sobre la forma denominada de mesetas y colinas, ninguna puede ser clasificada como especie distintiva. Sin embargo, 135 especies con recolectas en máximo tres estaciones, ratifica la gran riqueza que ha sido atribuida a este tipo de ambientes en iniciativas de conservación de áreas marinas (Gerner y Bryan 2003, Páramo *et al.* 2003, Cordes *et al.* 2008). Solo dos especies son características: *Plutonaster agassizi* (estrella) y *Euprognatha rastellifera* (crustáceo).

En las 11 estaciones muestreadas sobre la orla continental, en su mayoría en el sector centro-norte no fueron encontradas especies distintivas, pero del recuento total de especies recolectadas sobre dicha forma (393), 51 fueron encontradas solo en esta forma, hecho que va en concordancia con lo esperado de un área transicional (plataforma - talud continental) donde se presume un gran dinamismo entre comunidades y por ende una mayor riqueza de especies.

Equiparable a un tercio del total del área de interés, la forma denominada de plataforma es la más uniforme estructuralmente. En las 11 estaciones ubicadas sobre este ambiente, fueron listadas 465 especies de megafauna. Del total de 23 especies características, tres muestran altos valores de abundancia relativa dentro del grupo, un pez lenguado *Etropus crossotus* (99%), el pez *Apogon aurolineatus* (98%) y el bivalvo *Adrana tellinoides* (98%).

No se identificaron especies distintivas o representativas de terrazas o faldas.

El análisis de la función de riqueza esperada utilizando curvas de rarefacción de especies (Mao Tau) (Figura 9), permitió observar que se presentan los mayores valores sobre la forma denominada como mesetas/colinas, seguido por las asociadas a la plataforma, los escarpes, las faldas y por último la orla continental.

Este resultado, si bien no es concluyente, soporta la selección de las colinas como un paisaje que alberga una alta diversidad en el ejercicio de identificación de áreas significativas de biodiversidad.

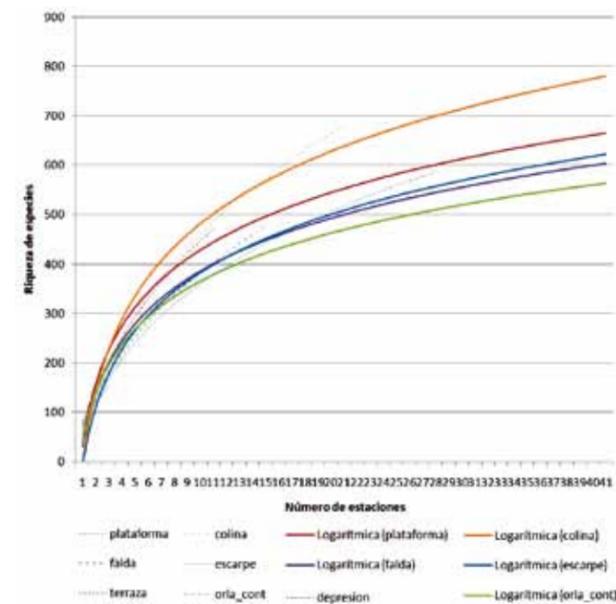


Figura 9. Curvas de rarefacción de especies que expresan la riqueza esperada utilizando el índice de Mao Tau.

De la misma forma, se observa que los mayores niveles de diversidad representados por los diferentes índices se asocian de forma estrecha a este tipo de forma, en los sectores sur de La Guajira, frente a las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, y en el sector medio frente al golfo de Morrosquillo.

### Ensamblajes

La superposición de la clasificación y ordenación de las estaciones, permitió observar la influencia de la profundidad en la formación de grupos de estaciones. Con el fin de detectar la posible influencia de otras característi-

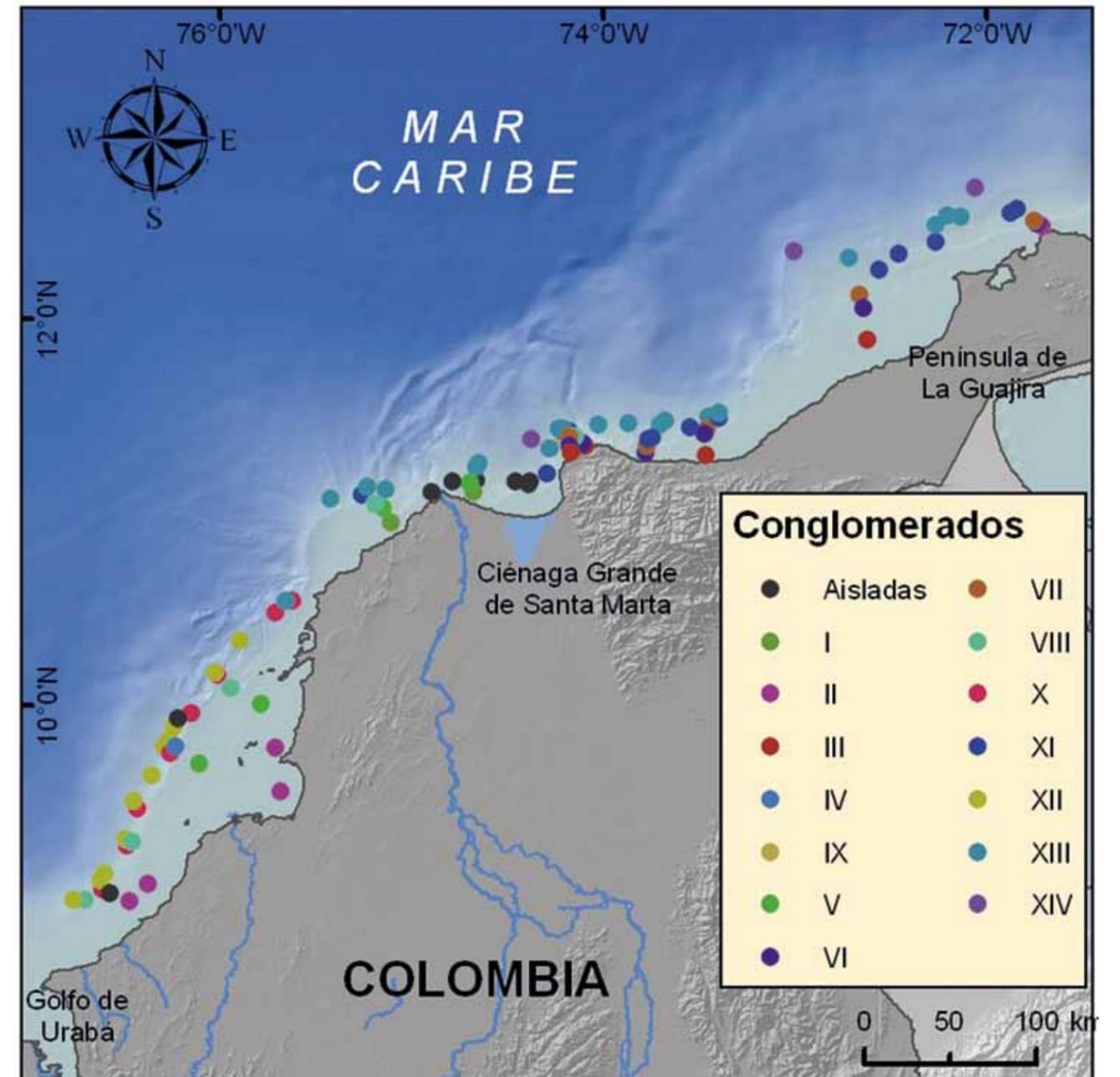
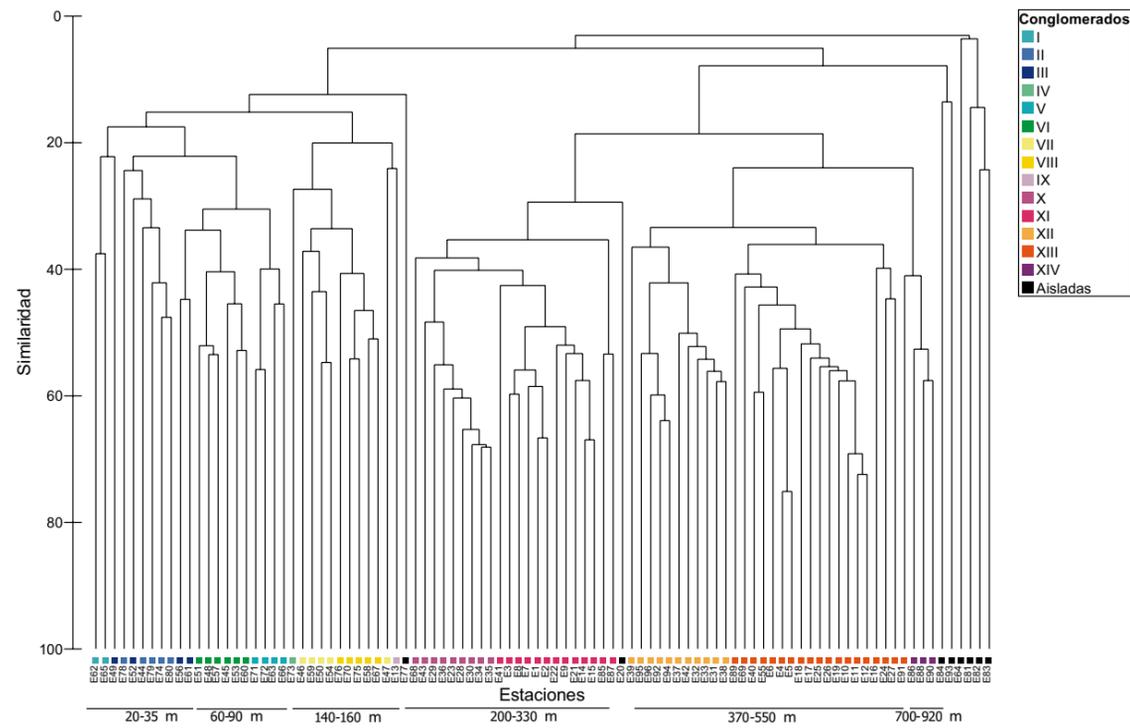
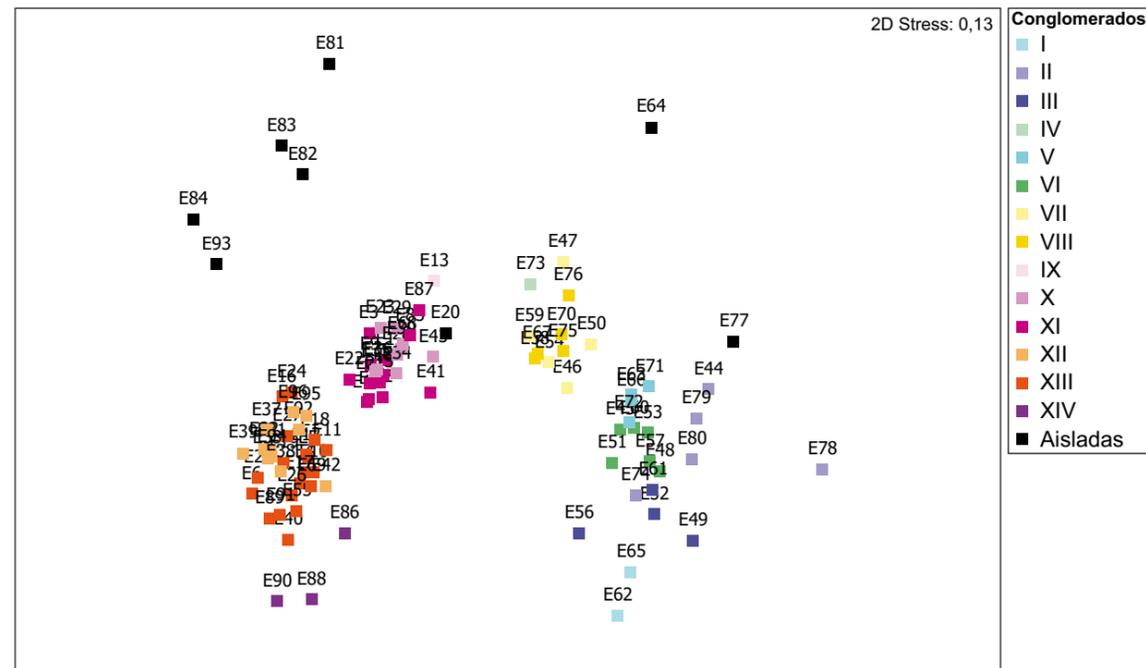


Figura 10. Representación espacial de la distribución de conglomerados encontrados resultado del análisis multivariado.



**Figura 11.** Clasificación de las 96 estaciones a lo largo del Caribe colombiano (abundancia de las especies en 20 min de arrastre transformada mediante raíz cuarta; unión promedio). Se observa la formación de 14 conglomerados de estaciones.



**Figura 12.** Ordenación no métrica multidimensional (NMDS) de 96 estaciones a lo largo del Caribe colombiano (abundancia de las especies en 20 min de arrastre transformada mediante raíz cuarta, 1000 reinicios), mostrando la formación de 14 conglomerados de estaciones.

cas ambientales, las estaciones fueron separadas en seis grandes grupos de acuerdo a su ámbito de profundidad, de acuerdo a los grupos formados en el análisis de clasificación de las 96 estaciones (20 a 35 m, 70 a 90 m, 140 a 160 m, 200 a 330 m, 370 a 550 y 700 a 920 m. Figura 11).

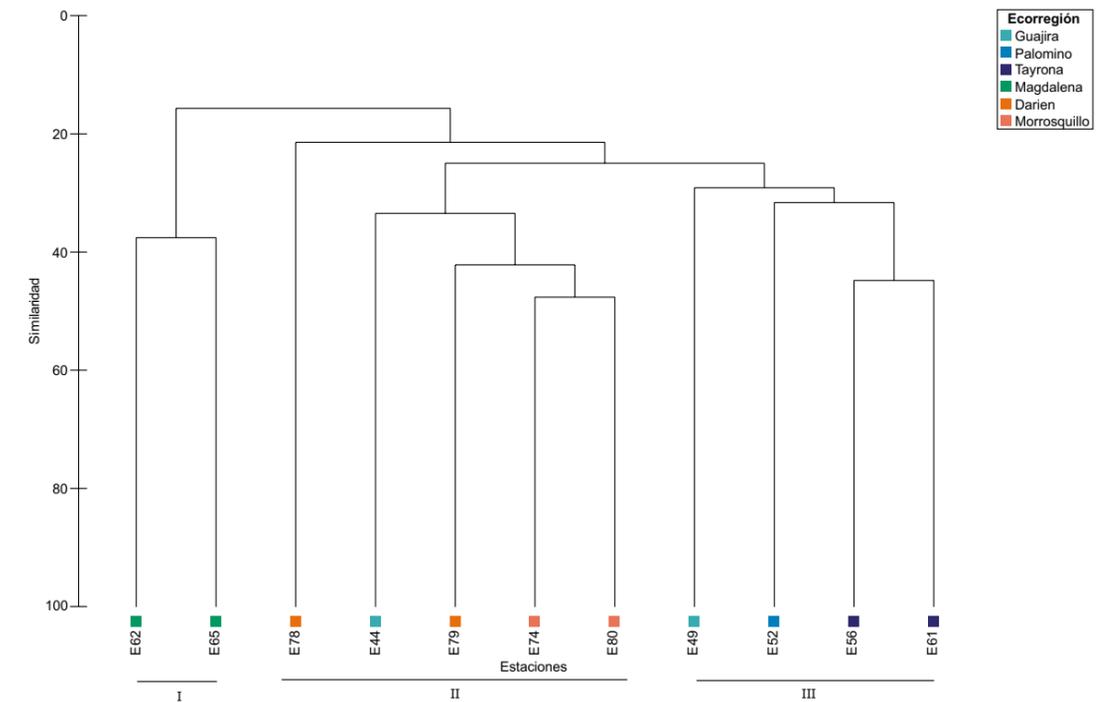
Los análisis de ordenación y clasificación independientes de cada uno de estos grupos permitieron postular la existencia de catorce conglomerados de estaciones relacionados con la profundidad, la posición geográfica y las características de la columna de agua (Figura 10, 11 y 12).

A continuación se presenta cada uno de los grupos de estaciones por profundidad con sus respectivos conglomerados:

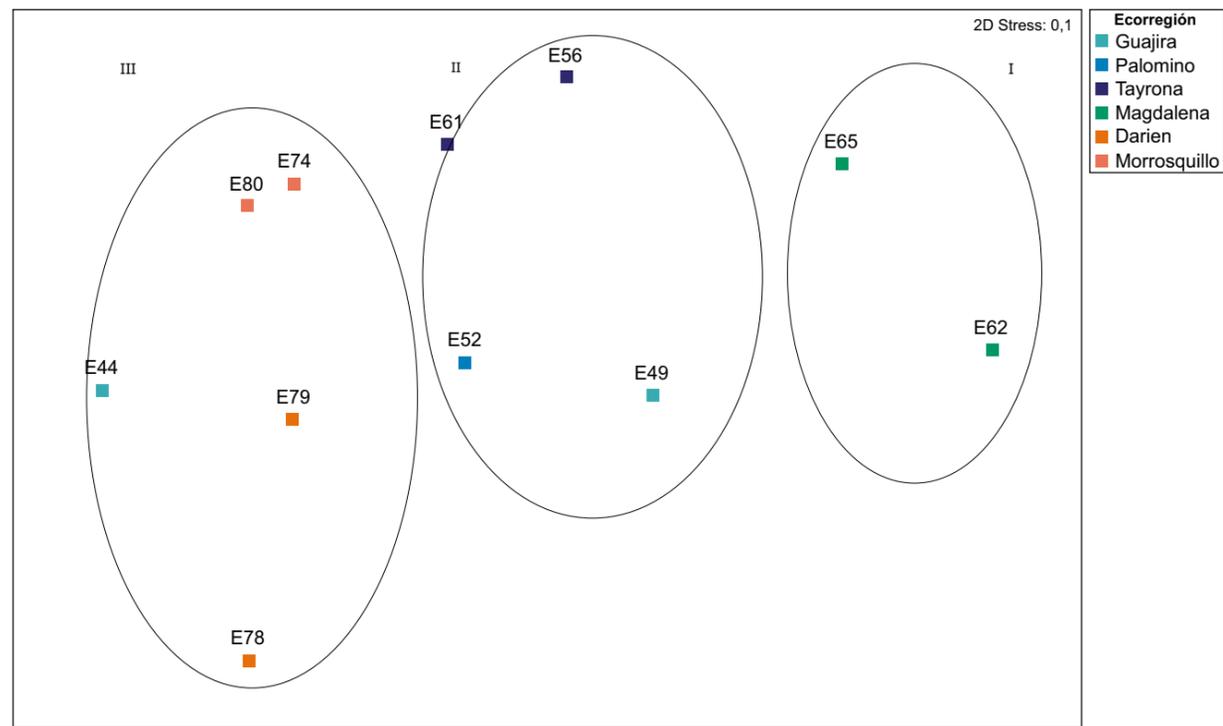
### Grupo 1 (estaciones de 20-35 m)

Está constituido por tres conglomerados (Figura 13 y 14), sin embargo todas las variables medidas, al parecer tuvieron el mismo efecto sobre su conformación de acuerdo con el valor obtenido de la correlación de Spearman ( $r=0,26$ ).

El primero (I) agrupa dos estaciones de la ecorregión Magdalena a 20 m de profundidad, E62 (Golfo de Salamanca) y E65 (Galerazamba). La separación de este ensamblaje pudo deberse principalmente al hecho de que esta región está afectada por descargas del Río Magdalena, que aporta abundantes sedimentos lodosos, generando hábitats propicios para especies características de ciénagas y manglares (Díaz y Gómez 2000, Ideam *et al.* 2007). Este ensamblaje presenta 54 especies, de estas seis son exclusivas, destacándose el dólar de mar *Leo-*



**Figura 13.** Clasificación de 11 estaciones que conforman el grupo de 20 a 35 m de profundidad en el Caribe colombiano (abundancia de las especies en 20 min de arrastre transformada mediante raíz cuarta; unión promedio). Se observa la formación de tres conglomerados de estaciones.



**Figura 14.** Ordenación no métrica multidimensional (NMDS) de 11 estaciones que conforman el grupo de 20 a 35 m de profundidad a lo largo del Caribe colombiano (abundancia de las especies en 20 min de arrastre transformada mediante raíz cuarta, 1000 reinicios), mostrando la formación de tres conglomerados de estaciones.

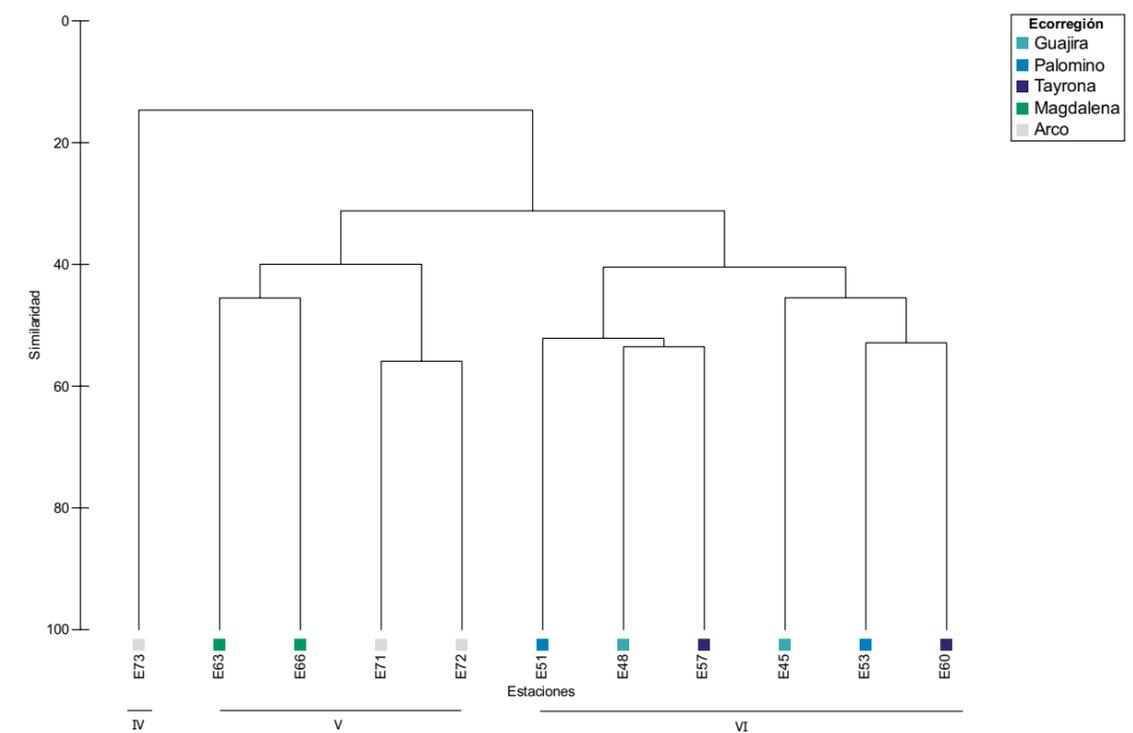
*dia sexiesperforata* y el bivalvo *Mulinia cleryana* (Anexo II). Las especies de bivalvos, *Chione cancellata* y *Chione intapurpurea* presentaron el 100 % de la frecuencia (94 % de la concentración de la abundancia en el grupo). Otras especies como *Tellina angulosa* presentaron abundancias promedio mayores pero con un 50 % de frecuencia (Anexo II).

El segundo conglomerado de estaciones (II) está conformado por 64 especies principalmente establecidas al sur del Caribe, en las ecorregiones Morrosquillo (E74, E80) y Darién (E78, E79), sin embargo la E44 de la ecorregión Guajira se une a este grupo. 39 especies presentaron el 100 % de la concentración de la abundancia, dentro de las cuales se destaca el camarón *Rimapenaeus similis* (80 % de frecuencia). Otras especies, como el cangrejo *Tetraplax quadridentata* y el bivalvo *Pitar arestus*, presentaron el 100 % de la frecuencia, *P. arestus* presentó la mayor abundancia del grupo.

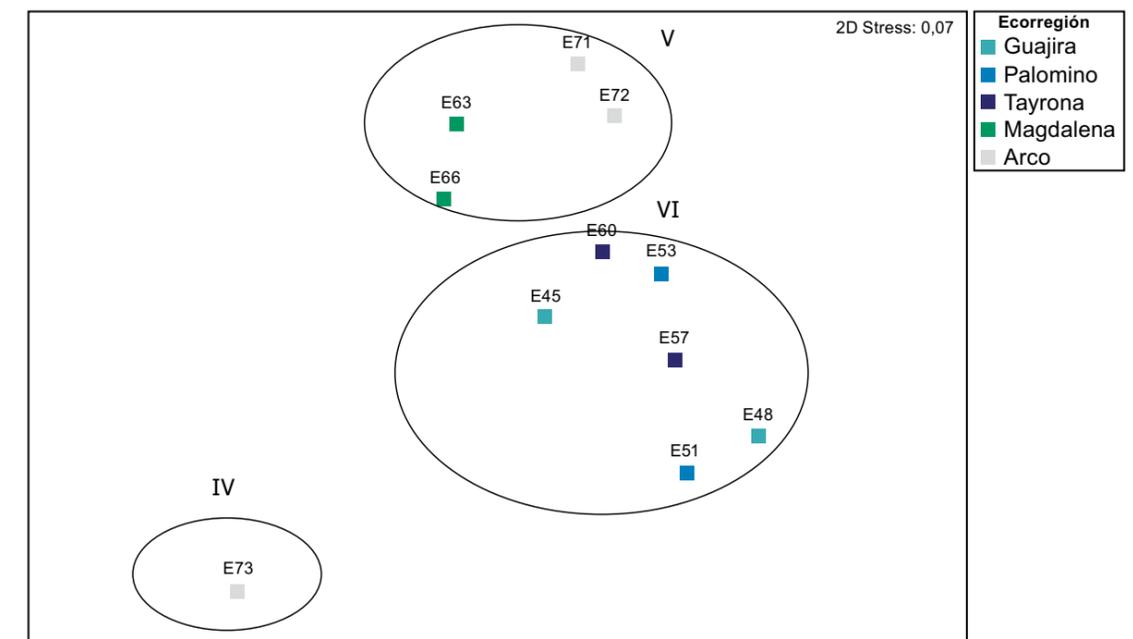
El tercer conglomerado (III) está constituido por estaciones ubicadas al norte, en las ecorregiones Guajira (E49), Palomino (E52) y Tayrona (E56, E61). Este ensamblaje está conformado por 77 especies, de las cuales 49 presentaron el 100 % de la concentración de la abundancia. A pesar de presentar una abundancia baja, el bivalvo *Laevicardium pictum* presentó el 100 % de la frecuencia. Contrariamente, se destaca por su mayor abundancia el pectínido *Chlamys nucleus* (50 % de frecuencia).

### Grupo 2 (estaciones de 60 a 90 m)

Incluye tres conglomerados (Figura 15 y 16), explicados por la combinación de la profundidad, la salinidad, el oxígeno y la clorofila ( $r=0,487$ ). Los organismos fotosintéticos al morir se sedimentan y podrían aportar materia orgánica, de tal forma que es posible detectar clorofila a mayores profundidades.



**Figura 15.** Clasificación de 11 estaciones que conforman el grupo de 60 a 90 m de profundidad en el Caribe colombiano (abundancia de las especies en 20 min de arrastre transformada mediante raíz cuarta; unión promedio). Se observa la formación de tres conglomerados de estaciones.



**Figura 16.** Ordenación no métrica multidimensional (NMDS) de 11 estaciones que conforman el grupo de 60 a 90 m de profundidad a lo largo del Caribe colombiano (abundancia de las especies en 20 min de arrastre transformada mediante raíz cuarta, 1000 reinicios), mostrando la formación de tres conglomerados de estaciones.

El conglomerado IV corresponde a la estación E73 de la ecorregión Archipiélagos coralinos a 89 m ubicada sobre fondos duros, con características de relieve y sustrato, asociados a estructuras arrecifales. Así mismo, la fauna presente es característica de bancos coralinos de profundidad (Reyes *et al.*, 2005). Por tanto no es de extrañar que presente la abundancia (1984) y riqueza (37 spp.) más altas de Cnidarios.

De las 65 especies encontradas se destacan 37 especies exclusivas, de las cuáles la mayor abundancia la presentan los corales pétreos *Madracis myriaster*, *Thalamophyllia riisei*, *Eguchipsammia cornucopia*, *Coenocyathus parvulus* y el coral negro *Aphanipathes abietina*. Por su parte, las especies características con los mayores valores de abundancia fueron, el ofiuo *Ophiothyreus goesi* (99 % de la concentración), el coral solitario *Caryophyllia berteriana* (98 %), el coral escleractinio *Javania cailleti* (95 %) y el coral azooxantelado *Caryophyllia berteriana* (98 %) (Anexo II).

El conglomerado V está constituido por cuatro estaciones ubicadas al sur y centro del Caribe colombiano, en las ecorregiones Archipiélagos coralinos (E71, E72) y Magdalena (E63, E66). De las 28 especies del ensamblaje, 19 presentan el 100 % de concentración de abundancia, sin embargo no hubo presencia de especies exclusivas. Se destaca la presencia del coral *Astrangia solitaria*, el cual presentó la mayor abundancia de este conglomerado y un 92 % de frecuencia (Anexo II).

El conglomerado VI lo conforman seis estaciones ubicada al norte del Caribe colombiano, en las ecorregiones Guajira (E45, E48), Palomino (E51, E53) y Tayrona (E57, E60). Agrupa 132 especies, 79 de las cuales presentaron el 100 % de la concentración. Este ensamblaje se caracteriza por presentar una alta riqueza de cnidarios (28 spp.). Esto se puede atribuir en parte a la estación E51 que se une a este grupo, la cual se caracteriza por presentar fauna asociada a bancos coralinos (Reyes *et al.* 2005) y con una alta riqueza (77 spp.). Las especies características con el porcentaje más alto de frecuencia

fueron los cangrejos *Parthenope agona* (100 %) y *Stenorhynchus yangi* (100 %), los gorgonáceo *Diodogorgia nodulifera* (83 %) y *Viminella sp. 1* (83 %), este último obtuvo la mayor abundancia dentro de este ensamblaje (Anexo II).

Posiblemente las especies que prefieren estas aguas someras, tienen preferencia por la masa de Agua Subsuperficial Subtropical (ASS), la cual está caracterizada en el norte por presentar una mayor concentración de clorofila que en la zona sur. En la zona de afloramiento de aguas subsuperficiales ésta mayor concentración de clorofila puede estar indicando un mayor aporte de material nutritivo particulado al fondo, disminuyendo la competencia interespecífica y aumentando las tasas de crecimiento y sobrevivencia.

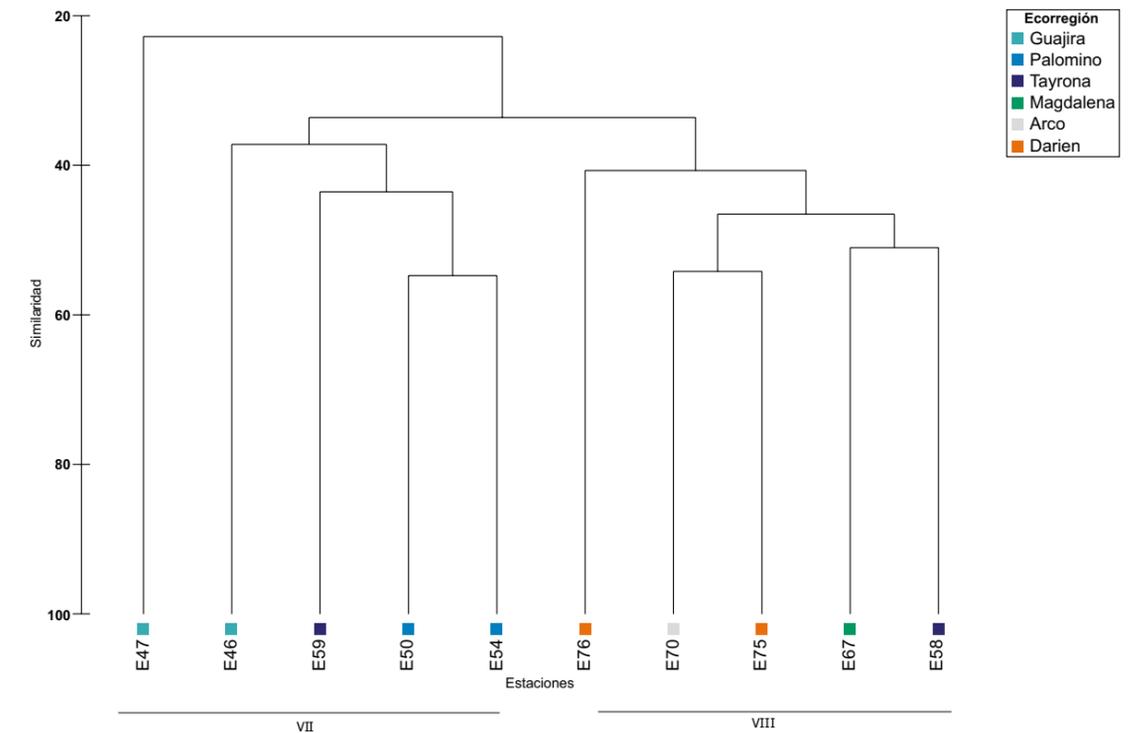
### Grupo 3 (estaciones de 140 a 160 m)

Éste grupo está conformado por dos conglomerados, relacionados con la combinación de la salinidad, la clorofila y la saturación de oxígeno ( $r=0,49$ ) (Figura 17 y 18).

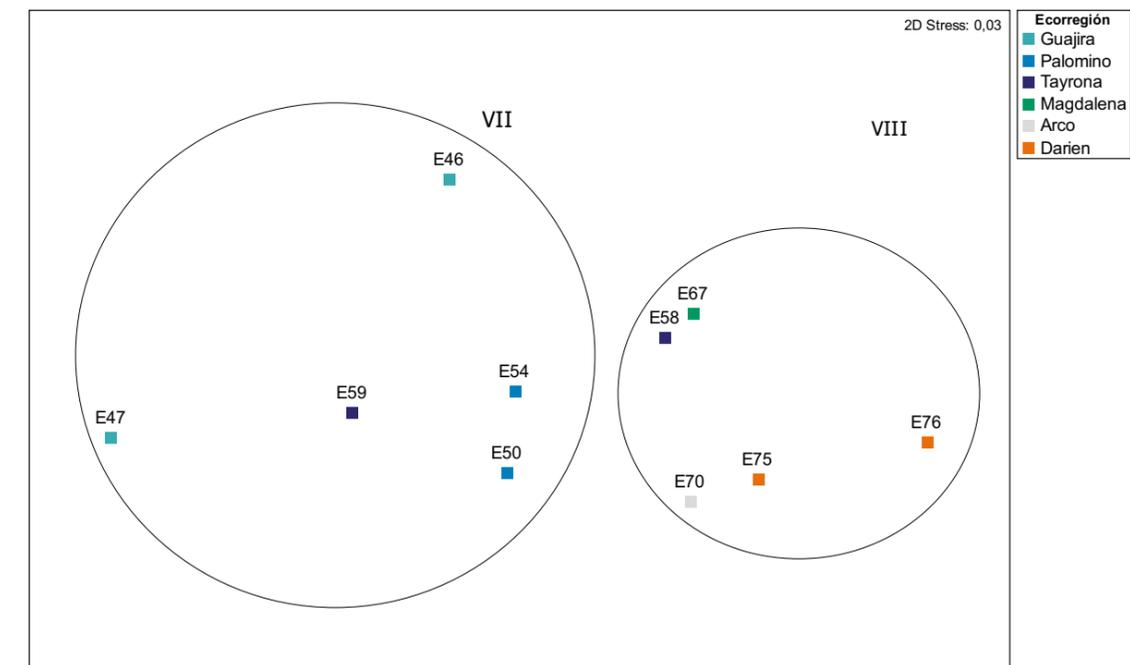
Las características oceanográficas como la salinidad y la saturación de oxígeno al parecer varían de tal forma que segregan los ensamblajes formados. (perfiles se muestran en el capítulo oceanográfico).

Así, la salinidad determina el desarrollo, el fenotipo, el rendimiento y la supervivencia de los organismos, y de manera indirecta la dinámica poblacional de las especies (Rumrill 1990, Lárez *et al.* 2000, Torres *et al.* 2002, Rivera y Mujica 2004). Los mayores valores de disolución de oxígeno en la zona norte, se podrían explicar en parte por una mayor actividad fotosintética que en la zona sur debido a la surgencia, sin embargo hay que tener en cuenta que estas aguas traen aguas subsaturadas de oxígeno.

El conglomerado VII agrupa las estaciones ubicadas al norte del Caribe colombiano, en las ecorregiones Guajira (E47, E46), Palomino (E50, E54) y Tayrona (E59). Este



**Figura 17.** Clasificación de 10 estaciones que conforman el grupo de 140 a 160 m de profundidad en el Caribe colombiano (abundancia de las especies en 20 min de arrastre transformada mediante raíz cuarta; unión promedio). Se observa la formación de dos conglomerados de estaciones.



**Figura 18.** Ordenación no métrica multidimensional (NMDS) de 10 estaciones que conforman el grupo de 140 a 160 m de profundidad a lo largo del Caribe colombiano.

ensamblaje está conformado por 48 especies, de éstas 31 presentaron el 100 % de la concentración de abundancia en el grupo, sin presencia de especies exclusivas. El pez *Synagrops spinosus* y el erizo *Clypeaster euclastus* obtuvieron el mayor porcentaje de frecuencia (100 %), sin embargo con abundancias bajas (Anexo II).

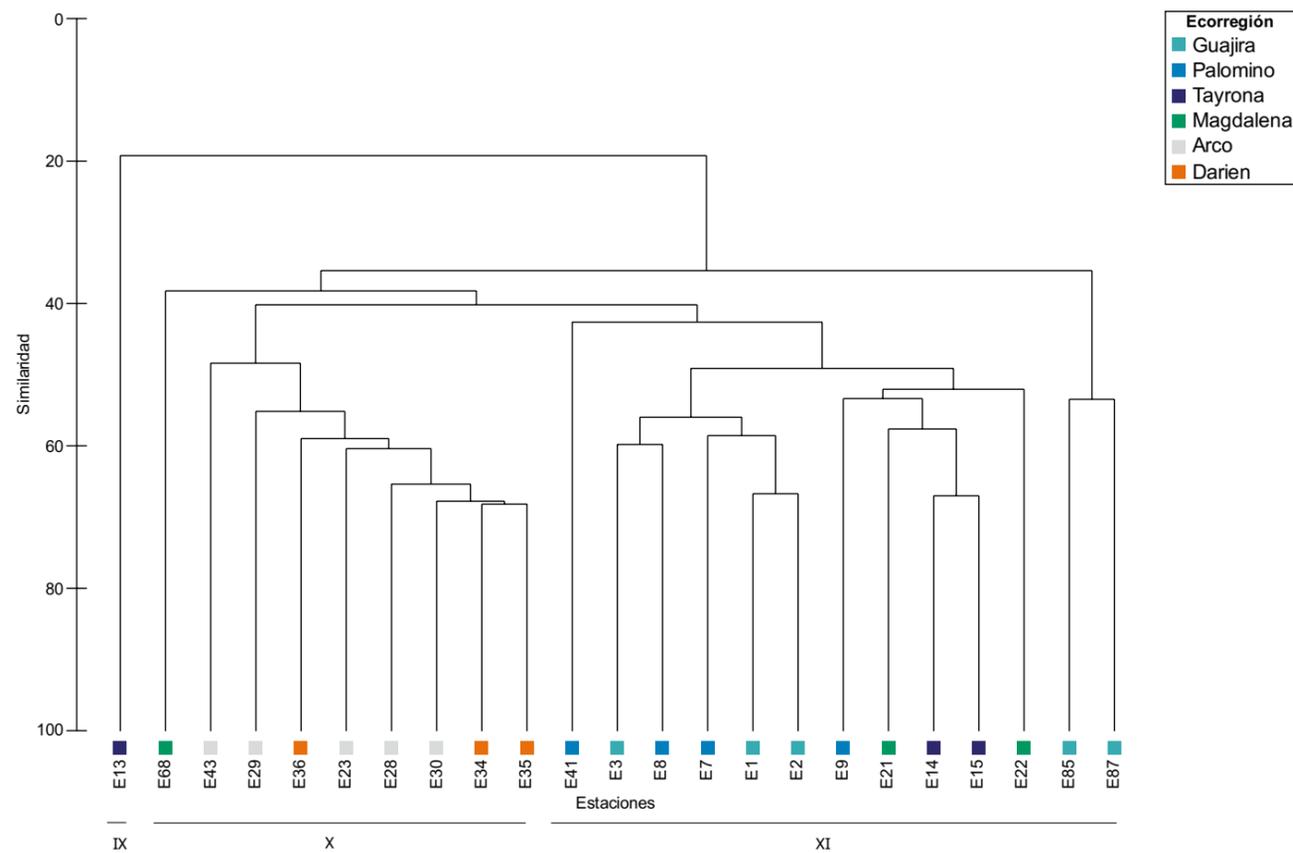
El conglomerado VIII está conformado por las estaciones ubicadas al sur del Caribe colombiano en un ámbito de 140 a 160 m de profundidad, en las ecorregiones Archipiélagos coralinos (E70) y Darién (E75, E76), sin embargo una estación del medio (E67) y norte (E58) se unen a este. El ensamblaje lo conforman 41 especies, 25 presentan el 100 % de concentración de la abundancia, sin presencia de especies exclusivas. Se destacan tres especies que presentaron un 100 % de frecuencia, el pepi-

no de mar *Thyone tanyspeira* (78 % de la concentración), el pez *Bathyanthias* sp. (96 %) y el crustáceo *Nancyplax vossi* (95 %).

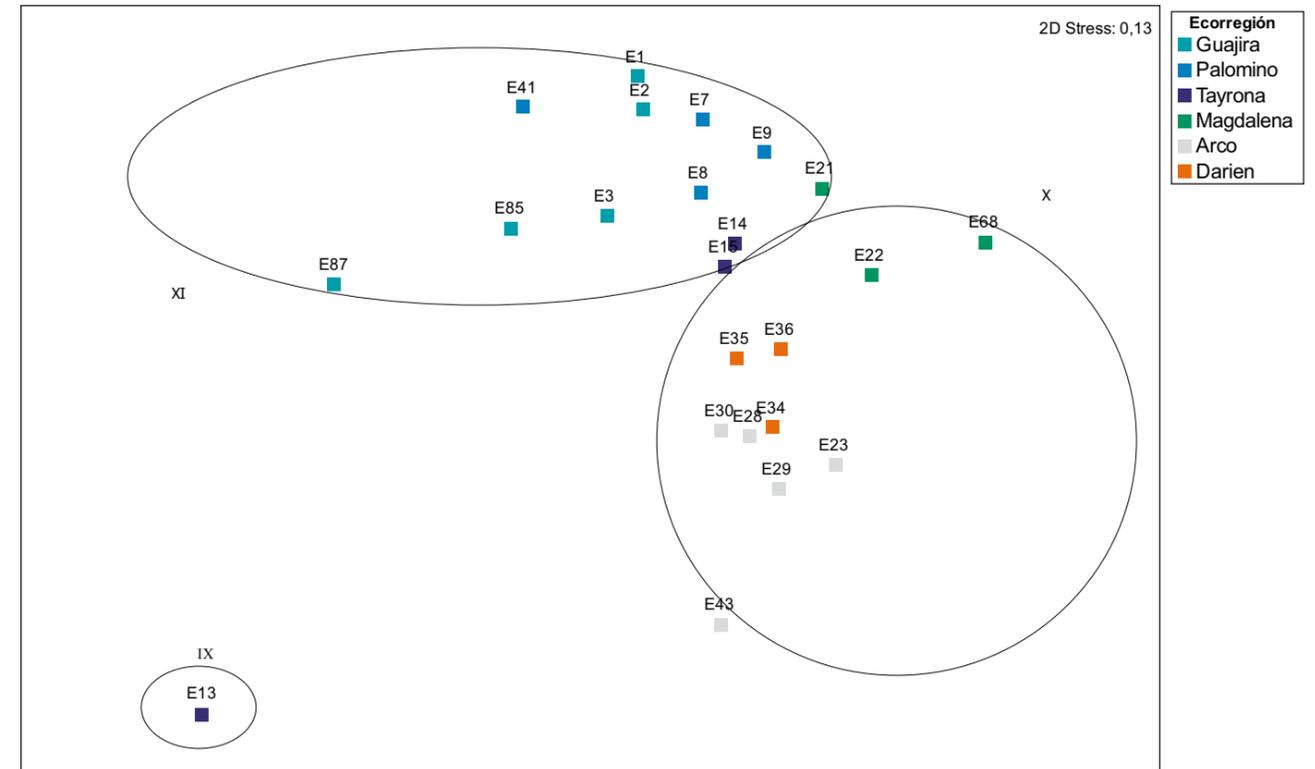
**Grupo 4 (estaciones de 200 y 330 m)**

Este grupo se caracteriza por la formación de tres conglomerados, relacionados con las combinaciones de todas las variables (r=0,44) (Figuras 19 y 20). El comportamiento de las variables se relaciona con las características del Agua Intermedia Subantártica, que domina a partir de profundidades mayores a los 200 m.

El conglomerado IX está conformado por la estación E13 de la ecorregión Tayrona a 210 m. Su separación obedece en parte probablemente al gradiente batimé-



**Figura 19.** Clasificación de 23 estaciones que conforman el grupo de 200 a 330 m de profundidad en el Caribe colombiano (abundancia de las especies en 20 min de arrastre transformada mediante raíz cuarta; unión promedio). Se observa la formación de tres conglomerados de estaciones.



**Figura 20.** Ordenación no métrica multidimensional (NMDS) de 23 estaciones que conforman el grupo de 200 a 330 m de profundidad a lo largo del Caribe colombiano (abundancia de las especies en 20 min de arrastre transformada mediante raíz cuarta, 1000 reinicios), mostrando la formación de tres conglomerados de estaciones.

trico, debido a que presenta la menor profundidad del grupo y al igual que las estaciones E73 (I) y E51 (VI), corresponde a bancos coralinos profundos (Reyes *et al.* 2005). La estación presenta 56 especies de las cuales 32 son exclusivas, donde el coral solitario *Polymyces fragilis* presenta la abundancia más alta, seguido del coral *Coenosmilia arbuscula* y el bivalvo *Limaria* sp. La especie característica con la mayor abundancia fue el ofiuro *Ophiothrix (Acanthophtotrix) suensonii*, con un alto porcentaje de concentración (84 %) (Anexo II).

El conglomerado X está conformado por las estaciones ubicadas al sur del Caribe localizadas en las ecorregiones Archipiélagos coralinos (E28, E29, E30, E43) y Darién (E34, E35, E36). No obstante, dos estaciones del centro hacen parte de este grupo (ecorregión Magdalena, E23 y E68). El ensamblaje se caracteriza por presentar un total de 54 especies, de las cuales 35 mostraron

un 100 % de concentración, dentro de estas se destaca el erizo *Aspidodiadema jacobyi* que presentó un alto porcentaje de frecuencia (89 %). El bivalvo *Parvamussium pourtalesianum* presentó la abundancia más alta del grupo, seguido del erizo *Brissopsis atlantica* con el 90 y 96 % de la concentración y una frecuencia alta para las dos especies (89 %) (Anexo II).

El conglomerado XI agrupa las estaciones ubicadas al norte del Caribe colombiano, en un rango de 200 a 330 m de profundidad, en las ecorregiones Guajira (E1, E2, E3, E85 y E87), Palomino (E7, E8, E9 y E41) y Tayrona (E14 y E15). No obstante, las estaciones E21 y E22 del centro, al norte de Galerazamba y del Golfo de Salamanca hacen parte del grupo. Este ensamblaje está constituido por 100 especies de las cuales 67 presentaron un porcentaje de concentración del 100 %, sin embargo obtuvieron porcentajes de frecuencias y abun-

dancia bajos. La langostilla *Agononida longipes* y el pez *Neobythites gilli* obtuvieron las abundancias más altas del grupo, con el 75 y 76 % de la concentración, e igualmente altas frecuencias (92 y 100 %) (Anexo II).

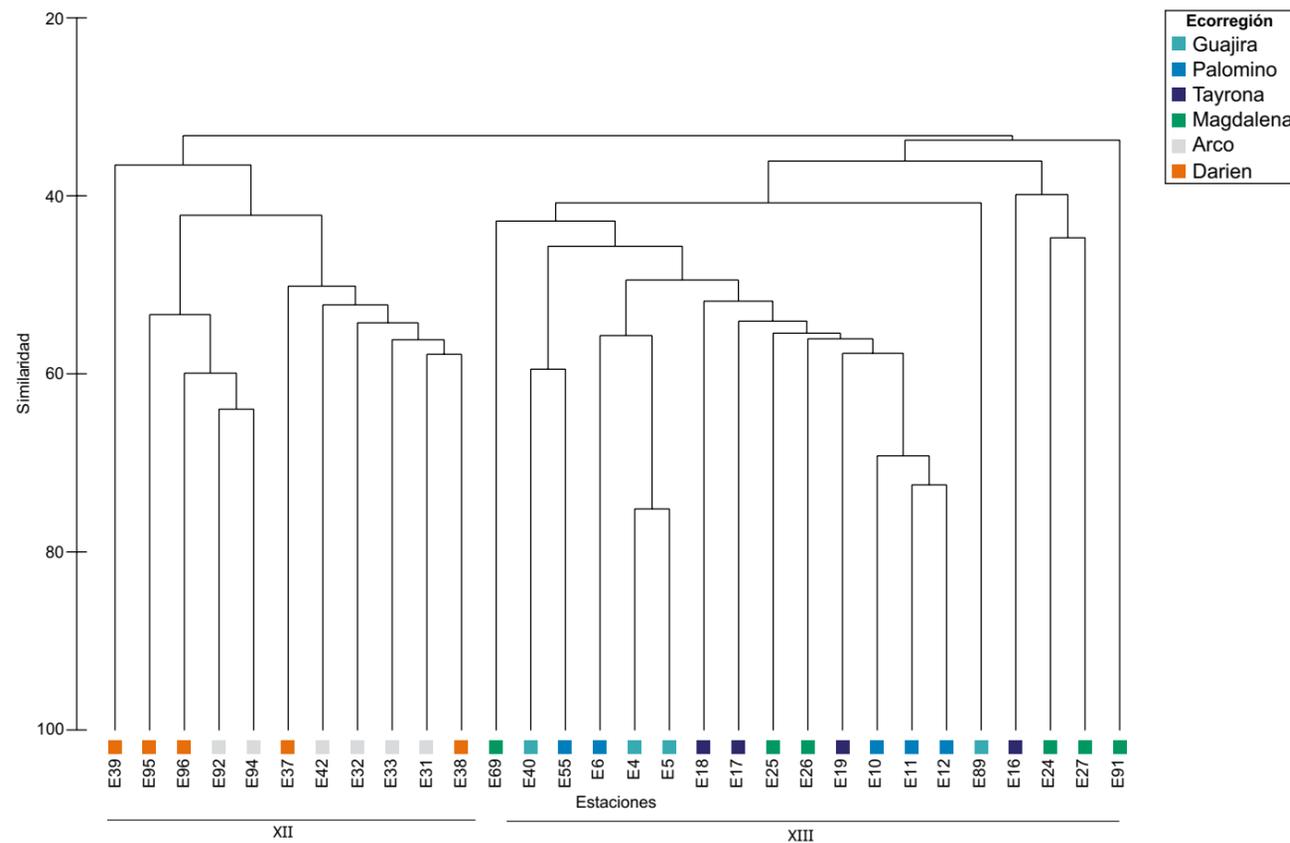
**Grupo 5 (estaciones de 370 y 550 m)**

Está conformado por dos conglomerados relacionados con la combinación de todas las variables (0,46 %) (Figuras 21 y 22).

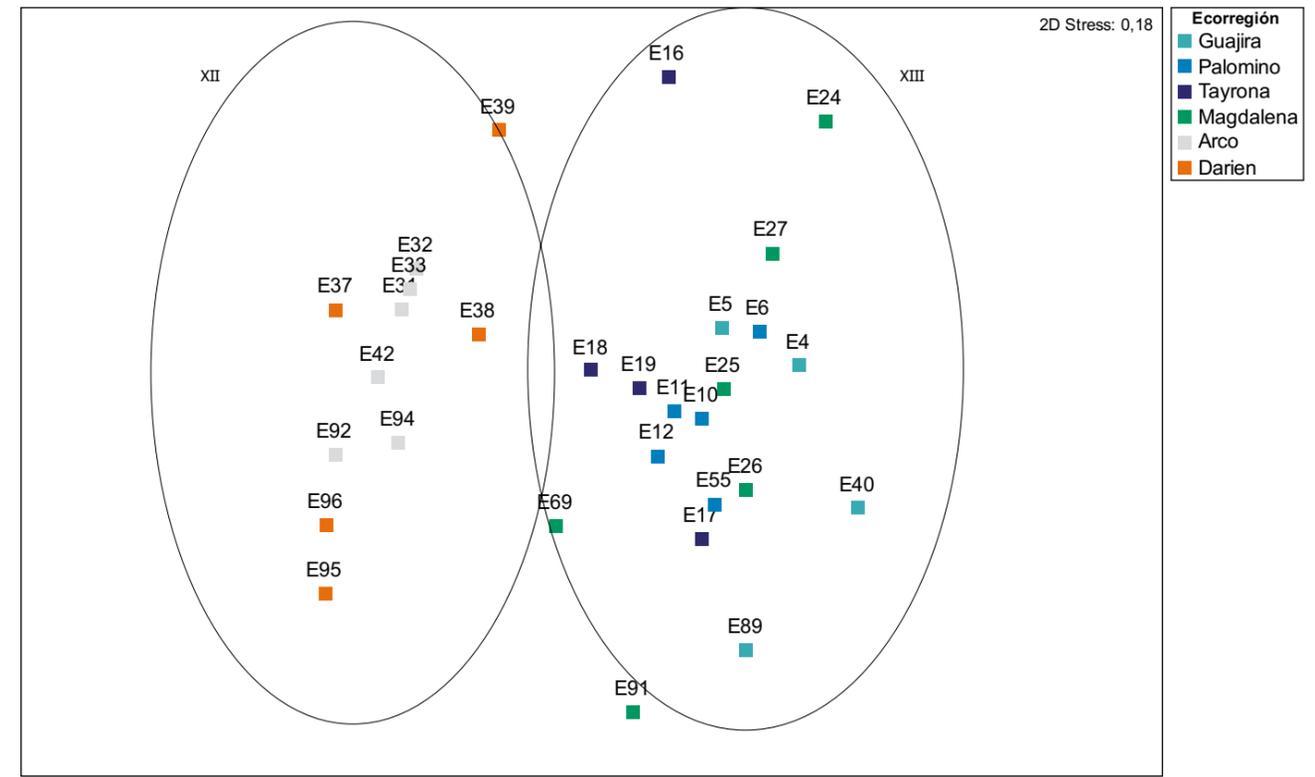
El conglomerado XII reúne las estaciones al sur del Caribe colombiano a los 500 m de profundidad en las ecorregiones Archipiélagos coralinos (E31, E32, E33, E42, E92 y E94) y Darién (E37, E38, E39, E95 y E96).

Este ensamblaje está constituido por 82 especies, de las cuales 55 tienen el 100% de concentración. La mayor abundancia registrada fue para el coral solitario *Deltocyathus eccentricus*, con una alta concentración (95 %) y una frecuencia media (64 %).

El conglomerado XIII está constituido por estaciones al norte del Caribe colombiano en donde se presentan afloramientos de aguas subsuperficiales frente a las ecorregiones Guajira (E4, E5, E40 y E89), Palomino (E6, E10, E11, E12 y E55) y Tayrona (E16, E17, E18 y E19). Sin embargo incluye cuatro estaciones del centro ubicadas al norte de Galerazamba y Golfo de Salamanca (E24, E25, E27, E26 y E69).



**Figura 21.** Clasificación de 30 estaciones que conforman el grupo de 370 a 550 m de profundidad en el Caribe colombiano (abundancia de las especies en 20 min de arrastre transformada mediante raíz cuarta; unión promedio). Se observa la formación de dos conglomerados de estaciones.



**Figura 22.** Ordenación no métrica multidimensional (NMDS) de 30 estaciones que conforman el grupo de 370 a 550 m de profundidad a lo largo del Caribe colombiano (abundancia de las especies en 20 min de arrastre transformada mediante raíz cuarta, 1000 reinicios), mostrando la formación de dos conglomerados de estaciones.

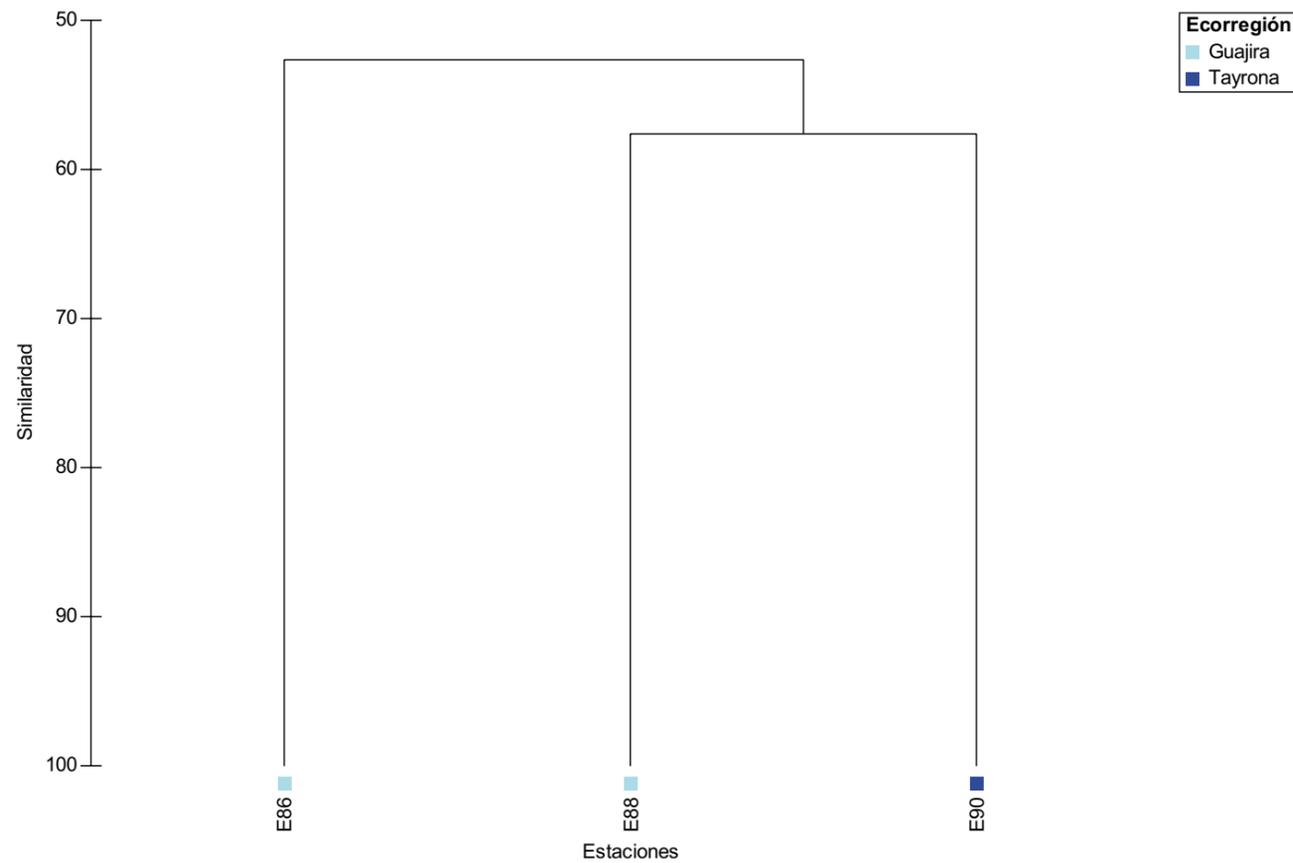
Este ensamblaje está formado por 82 especies, de las cuales 54 tienen el 100 % de concentración de abundancia. Dentro de las especies características *Laemonema goodebeanorum* presentó el 100 % de frecuencia (82 % de concentración), sin embargo con una baja abundancia promedio. El bivalvo *Limopsis sulcata* exhibió la mayor abundancia promedio, con un alto porcentaje de concentración (83 %), y frecuencia (74 %). Le sigue el ofiuro *Ophiocamax fasciculata* con un porcentaje de concentración de 77 y 74 % de frecuencia (Anexo II).

**Grupo 6 (estaciones de 700 a 920 m)**

Constituido por un solo conglomerado (XIV) ubicado al norte del Caribe colombiano, frente a las ecorregiones Guajira (E86 y E88) y Tayrona (E90) (Figura 23).

Este ensamblaje se caracteriza por la presencia del núcleo del Agua Intermedia Subantártica, caracterizada por presentar una salinidad de 34,7 y una temperatura de 6°C. Está conformado por 50 especies; 32 especies mostraron el 100 % de concentración, de las cuales se destacaron cuatro especies exclusivas (los peces *Halosaurus* sp., *Ilyopis* sp., *Dicrolene* sp. y un crustáceo Carideo, el cual presentó la mayor abundancia promedio. Sobresalen otras especies como el holotúrido *Mesothuria lactea*, con el 98 % de concentración y 100 % de frecuencia, y el ofiuro *Ophiacantha mesembria* con el 91 % de concentración y 100 % de frecuencia, sin embargo con una abundancia promedio baja.

De las estaciones consideradas como aisladas, la E20 a 206 m de profundidad se destaca por presentar ocho especies con un porcentaje de concentración mayor o igual al 70 %.



**Figura 23.** Clasificación de 3 estaciones que conforman el grupo de 700 a 920 m de profundidad en el Caribe colombiano (abundancia de las especies en 20 min de arrastre transformada mediante raíz cuarta; unión promedio). Se observa la formación de un grupo de estaciones.

Dentro de estas especies se encuentra el pez *Symphurus hernandezi* con una concentración de la abundancia del 86 %. Esta especie descrita a partir de ejemplares colectados en estos muestreos hasta el momento presenta una distribución restringida a la plataforma continental del Caribe colombiano (Saavedra-Díaz *et al.*, 2003).

En el mar Caribe colombiano es evidente la presencia de ensamblajes, tanto en la plataforma como el talud superior, sin embargo, algunas de las especies no se restringieron a estos conglomerados. Muchas de ellas no presentan preferencia de hábitat y se pueden distribuir en un amplio ámbito batimétrico y geográfico.

En total se encontraron 37 especies generalistas pertenecientes a moluscos (11 especies), crustáceos (8), equinodermos (6) y peces (12). Dentro de estas los mayores porcentajes de frecuencia en su orden fueron el del ofiu-ro *Ophiomusium eburneum* (47 %), el crustáceo *Parape-naeus politus* (42 %) y el gasterópodo *Scaphander watsoni rehderi* (31 %) (Anexo II). Las especies generalistas y características de cada grupo y unión entre grupos, aparecen en el análisis inverso (Anexo II).

En general es evidente que la información disponible sobre la megafauna y las características del norte de la Provincia del Mar Caribe permiten inferir una diferenciación espacial de las comunidades en comparación

con las áreas adyacentes. Esta diferenciación ha sido también reportada por Bangma *et al.* (2008), los cuales a través del análisis de peces mesopelágicos del golfo de México, observaron diferencias significativas de las comunidades de las Plataformas de Colombia y Venezuela en comparación a sus aguas adyacentes. Esta diferenciación es explicada a través de la presunción de un ecotono biogeográfico entre las plataformas del Atlántico permitiendo la aparición de endemismos.

Con respecto a la formación de los conglomerados a lo largo del Caribe colombiano, puede ser probable que las especies que habitan aguas someras, muestren distribuciones más restringidas que las especies de aguas más profundas (Baba 2005, Macpherson 2007). Las especies de aguas profundas pueden alcanzar distribuciones amplias, debido a la homogeneidad de las masas de agua predominantes en las planicies de fondos abisales, a la no existencia de barreras absolutas para la dispersión, la baja influencia de los cambios climáticos y oceanográficos (Wilson y Hessler 1987), y al movimiento lento y gradual de las masas continentales (Palumbi 2003), lo cual, aunado a una baja tasa de mutación genética, favorecería en menor medida los procesos de especiación atribuidos principalmente a la distancia (Palumbi 2003).

## CONSIDERACIONES FINALES

Las representaciones a gran escala de sustitutos de biodiversidad deben ser interpretadas con precaución, debido a la naturaleza fluctuante del medio marino.

Confirmaciones en campo y análisis de recolectas recientes podrán dar la confirmación a la selección de tres áreas encontradas en este estudio como de alta diversidad: En Guajira centro a 200 m de profundidad, entre Palomino y Tayrona a 400 m de profundidad, y entre ARCO y Darién a 300 m de profundidad.

La estructura de los conglomerados de estaciones (riqueza y abundancia de las especies) está aparentemente

relacionada con las variables oceanográficas, en particular las que más varían con el gradiente batimétrico como la temperatura, salinidad, saturación de oxígeno y por la presencia de organismos con clorofila.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los profesores de la Universidad Jorge Tadeo Lozano Andrés Franco-Herrera y Adolfo San Juan por sus valiosos aportes y comentarios que enriquecieron este manuscrito.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abele L.G. 1982. Biogeography, 242-304. En: Abele L.G. (ed.). *The biology of Crustacea: Systematics, the fossil record, and biogeography*, Academic Press, vol. I, Nueva York, 319 p.
- Baba K. 2005. Deep-sea Chirostylid and Galatheid crustaceans (Decapoda: Anomura) from the Indo-pacific, with a list of species. *Galathea Report*, 20:1-66.
- Bangma J., L. Haedrich y L. Richard. 2008. Distinctiveness of the mesopelagic fish fauna in the Gulf of Mexico. *Deep Sea Research*, parte II, 55(24-26):2594-2596.
- Baxter K. 2008. Linking seafloor mapping and ecological models to improve classification of marine habitats: opportunities and lessons learnt in the Recherche Archipelago, Western Australia. The University of Western Australia, 206 p.
- Brown J.H. y M.V. Lomolino. 1998. Biogeography. Sinauer Associates, 2 ed., Massachusetts, 691 p.
- Clarke K.R. y R.M. Warwick. 2001. Change in the marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Primer-e, 2 ed., Plymouth, 172 p.
- Clarke K.R. y R.N. Gorley. 2006. PRIMER v6: User Manual/Tutorial. Primer-e ltd., Plymouth, 190 p.
- Cordes E.E., M.P. McGinley, E.L. Podowski, E.L. Becker, S. Lesard-Pilon, S.T. Viada y C.R. Fisher. 2008. Coral communities of the deep Gulf of Mexico *Deep Sea Research*, parte I, 55(6):777-787.
- Connor D.W., J.H. Allen, N. Golding, L. Howell, M. Louise, K.O. Lieberknecht, O. Kate, Northen y J.B. Reker. 2004. The marine habitat classification for Britain and Ireland. Version 04.05 JNCC, Peterborough, www.jncc.gov.uk/MarineHabitatClassification.

- Costello M.J. y E.V. Berghe. 2006. Ocean biodiversity informatics: a new era in marine biology research and management. *Marine Ecology Progress Series*, (316):203-214.
- Colwell R.K., C.X. Mao y J. Chang. 2004. Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves. *Ecology*, 85(10): p. 2717-2727.
- Colwell R.K. 2005. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. User's Guide and application, <http://purl.oclc.org/estimates>.
- Davies J.M., J.M. Addy, R.A. Blackman, J.R. Blanchard, J.E. Ferbrache, D.C. Moore, H.J. Somerville, A. Whitehead y T. Wilkinson. 1984. Environmental effects of the use of oil-based drilling muds in the North Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 15(10):363-370.
- Day J.C. y J.C. Roff. 2000. Planning for representative Marine Protected Areas. A framework for Canada's Oceans. Report prepared for World Wildlife Fund, Canada, Toronto, 147 p.
- Díaz J.M. y D.I. Gómez. 2000. Programa nacional de investigación en biodiversidad marina y costera (PNIBM). Invemar, FONADE y MMA, Santa Marta, 80 p.
- Díaz J.M. y A. Acero. 2003. Marine biodiversity in Colombia: Achievements, status of knowledge and challenges. *Gayana*, 67(2): 261-274.
- ESRI 2004. ArcGIS 9. ArcView Media Kit, New York.
- Gerner D.B.K. y B.A. Bryan. 2003. Geographic information systems and optimisation algorithms to assist in the design of Marine Protected Areas: a case study of the Encounter region, South Australia. Proceedings of Spatial Sciences, Camberra.
- Global Mapper Software LLC. 2007. Global Mapper. Disponible para adquisición en <http://www.globalmapper.com/>.
- Gotelli N. y R.K. Colwell. 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4:379-391.
- Harding L.E. (ed.). 1997. A marine ecological classification system for Canada. Marine Environmental Quality Advisory Group for Environment Canada, Pacific and Yukon Region. Delta, Columbia Británica, 58 pp.
- Hughes J.A., L. Menot y L. Levin. 2008. Habitat classification and mapping on deep continental margins. Research and consultancy report, COMARGE workshop National Oceanography Centre, Southampton, número 54, 28 p.
- IDEAM, IGAC, IAVH, Invemar, Sinchi, IIAP. 2007. Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales-Ideam, Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales-Ideam, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andreis, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Bogotá D.C., 276 p, + 37 planchas, + CD-ROM.
- IHO - IOC (eds.). 2001. Normalización de los nombres de las formas del relieve submarino. Organización Hidrográfica Internacional y Comisión Oceanográfica Intergubernamental, Mónaco, Publicación batimétrica número 6, 32 p.
- Kingston P.F. 1987. Field effects of platform discharges on benthic macrofauna. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 316:545-565.
- Lárez M.B., J.L. Palazón-Fernández y C.J. Bolaños. 2000. The effect of salinity and temperature on the larval development of *Mithrax caribbaeus* Rathbun, 1920 (Brachyura: Majidae) reared in the laboratory. *Journal of Plankton Research*, 22(10):1855-1869.
- Macpherson E. 2007. Species of the genus *Munidopsis* Whiteaves, 1784 from the Indian and Pacific Oceans and reestablishment of the genus *Galacantha* A. Milne-Edwards, 1880 (Crustacea, Decapoda, Galatheidae). *Zootaxa*, 1417:1-135.
- Magurran A.E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, New Jersey, 179 p.
- Margalef D.R. 1958. Information theory in ecology. *General Systematics*, 3:36-71.
- Menhinick E.F. 1964. A comparison of some species-individuals diversity indices applied to samples of field insects. *Ecology*, 45(4):859-861.
- Nelson J.S. 2006. Fishes of the world. John Wiley and Sons, 4 ed., 601 p.
- Palumbi S.R. 2003. Populations genetics, demographic connectivity and the design of Marine Protected Areas. *Ecological Applications*, 13:146-158.
- Páramo J., R. Quiñones, A. Ramírez y R. Wiff. 2003. Relationship between abundance of small pelagic fishes and environmental factors in the Colombian Caribbean Sea: an analysis based on hydroacoustic information. *Aquatic Living Resources*, 16:239-245.
- Ponder W. F. y D. R. Lindberg (eds.). 2008. Phylogeny and evolution of the Mollusca. University of California Press, Berkeley y Los Angeles, California, 469 p.
- Reyes J.O., N.K. Santodomingo, M.A. Gracia, G.H. Borrero-Pérez, G.R. Navas, L.M. Mejía-Ladino, A. Bermúdez y M. Benavides. 2005. Southern Caribbean azooxanthellate coral communities off Colombia, 309-330. En Freiwald A., y J.M. Roberts (eds.), Cold-water corals and Ecosystems, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Rivera J. y A. Mujica. 2004. Distribución horizontal de larvas de crustáceos decápodos capturadas entre Caldera e isla de Pascua (Pacífico sudoriental), octubre de 1999. *Investigaciones Marinas Valparaíso*, 32(2):37-58.
- Rumrill S.S. 1990. Natural mortality of marine invertebrate larvae. *Ophelia*, 32:163-198.
- Saavedra-Díaz L.M., T. Munroe y A. Acero. 2003. *Symphurus hernandezii* (Pleuronectiformes: Cynoglossidae), a new deep-water tonguefish from the southern Caribbean Sea off Colombia. *Bulletin of Marine Science*, 72(3):955-970.
- Shannon C.E. y W. Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, IL, 144 p.
- Simpson E.H. 1949. Measurement of Diversity. *Nature*, 163: 688.
- Spalding M.D., H.E. Fox, G.R. Allen, N. Davidson, Z.A. Ferdaña, M. Finlayson, B.S. Halpern, M.A. Jorge, A. Lombana, S.A. Lourie, K.D. Martin, E. McManus, J. Molnar, C.A. Recchia y J. Robertson. 2007. Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of Coastal and Shelf Areas. *BioScience*, 57(7):573-583.
- Stevens T. y R.M. Connolly. 2004. Testing the utility of abiotic surrogates for marine habitat mapping at scales relevant to management. *Biological Conservation*, 119(3):351-362.
- Taylor L.R., I.P. Wordwood y J.N. Perry. 1980. Variance and the large scale spatial stability of aphids, moths and birds. *Journal of Animal Ecology*, 49:831-854.
- Terlizzi A, S. Bevilacqua, D. Scuderi, D. Fiorentino, G. Guarnieri, A. Giangrande, M. Licciano, S. Felling y S. Frascettia. 2008. Effects of offshore platforms on soft-bottom macro-benthic assemblages: A case study in a Mediterranean gas field. *Marine Pollution Bulletin*, 56(7):1303-1309.
- Torres G., L. Giménez y K. Anger. 2002. Effects of reduced salinity on the biochemical composition (lipid, protein) of zoea 1 decapod crustacean larvae. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 277:43-60.
- UNF (ed.). 2002. Atlas of the Oceans. United Nations Foundation, FAO, IAEA, IMO, UNEP, WMO, Roma, [www.ocean-atlas.org](http://www.ocean-atlas.org).
- Vierros M. 2007. Approaches to biogeographic classification of the world's oceans, 11 p. En CCAMLR Bioregionalisation Workshop, United Nations, University Institute of Advanced Studies, Bruselas.
- Williams A., N.J. Bax, R.J. Kloser, F. Althaus, B. Barker y G. Keith. 2009. Australia's deep-water reserve network: implications of false homogeneity for classifying abiotic surrogates of biodiversity. *ICES Journal of Marine Science*, 66:214-224.
- Wilson G.D. y R.R. Hessler. 1987. Speciation in the deep sea. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 18:185-207.
- Wright D.J., E.R. Lundblad, E.M. Larkin, R.W. Rinehart, J. Murphy, L. Cary-Kothera y K. Draganov. 2005. ArcGIS Benthic Terrain Modeler, Corvallis, Oregon, Oregon State University, Davey Jones Locker Seafloor Mapping/Marine GIS Laboratory and NOAA Coastal Services Center: <http://www.csc.noaa.gov/products/btm/>
- Yoshioka P.M. 2008. Misidentification of the Bray-Curtis similarity index. *Marine Ecology Progress Series*, 368:309-310.
- Zajac R.N. 2008. Macrobenthic biodiversity and sea floor landscape structure. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 366:198-203.

## ANEXOS

**Anexo I:** Información oceanográfica de las estaciones de muestreo en el mar Caribe colombiano. Est: Consecutivo de la estación; Cam: Campaña; Arr: Arrastre; Lat: Latitud; Long: Longitud; Prof: Profundidad, Dist.: Distancia desde la estación más nororiental hasta la estación correspondiente; Ecorr: Ecorregiones del Caribe colombiano: Guajira (GUA), Palomino (PAL), Tayrona (TAY), Magdalena (MAG), Archipiélagos coralinos (ARCO), Morrosquillo (MOR) y Darién (DAR). Pais: Paisajes del fondo marino del Caribe colombiano; Plataforma arenosa de la ecorregión Guajira (4pa-gu) y Palomino (4pa-pa); Plataforma lodosa de la ecorregión Golfo de Salamanca (4pl-gs), Golfo de Morrosquillo (4pl-gm), Archipiélagos Coralinos (4pl-gm) y Arboletes (4pl-ar); Plataforma lodo arenosa de la ecorregión Galerazamba (4po-ga), Archipiélagos Coralinos (4po-ac) y Arboletes (4po-pa); Falda continental (5fc); Cañón submarino (5cs); Delta adyacente al Agua intermedia Subantártica (5dt-AIS), Delta adyacente al Agua Subsuperficial Subtropical (5dt-ASS); Escarpe adyacente al Agua Intermedia Subantártica (5es-AIS), Escarpe adyacente al Agua Subsuperficial Subtropical (5es-ASS), Escarpe adyacente al Agua Profunda del Caribe (5es-APC). Temp: Temperatura en grados Celsius; Sal: Salinidad; O2%: Porcentaje de saturación de Oxígeno; Dens: Densidad Sigma T; Chl: Clorofila medida en función de la fluorescencia. Para los datos físico-químicos se tomó la información obtenida a partir de los cruceros ANH I, asumiendo que esas profundidades no se presentan fuertes variaciones anuales ni interanuales en las características de las masas de agua.

**Anexo II (CD):** Análisis inverso de las 96 estaciones a lo largo del Caribe colombiano organizadas en XIV conglomerados y siete estaciones aisladas (resaltados en color). Se muestran las abundancias de las 1397 especies en 20 minutos de arrastre organizadas por el porcentaje de la concentración de abundancia y porcentaje de fre-

cuencia en cada conglomerado. Se incluyen los nodos (sin resaltar) identificados a partir de los análisis de clasificación y ordenación (abundancia).

Consulta via Web:

[www.invemar.org.co/publico/bmcc/anexo\\_II\\_Capitulo\\_11.xlsx](http://www.invemar.org.co/publico/bmcc/anexo_II_Capitulo_11.xlsx)

### Anexo I

Est.	Cam.	Arr.	Lat.	Long.	Prof. (m)	Dist. (Km)	Ecorr.	Pais.	Temp. (°C)	Sal.	Dens. (Sigma T)	O2% (O2%)	Chl. (µg/l)
E1	Macrofauna I	C9-C10	12,57	-71,84	300	0	GUA	5es-AIS	14,42	35,78	28,06	5,66	0,00
E2	Macrofauna I	C15-C16	12,40	-72,26	300	91	GUA	5es-AIS	14,56	35,81	28,04	5,66	0,00
E3	Macrofauna I	C17-C18	12,25	-72,55	300	127	GUA	5es-AIS	13,26	35,59	28,18	5,42	0,00
E4	Macrofauna I	C11-C12	12,53	-72,13	450	66	GUA	5es-AIS	9,99	35,09	29,06	5,22	0,00
E5	Macrofauna I	C13-C14	12,49	-72,26	450	81	GUA	5es-AIS	10,18	35,12	29,00	5,25	0,02
E6	Macrofauna I	C19-C20	12,32	-72,71	460	146	PAL	5es-AIS	9,59	35,05	29,15	5,02	0,01
E7	Macrofauna I	C23-C24	11,49	-73,39	300	344	PAL	5dt-AIS	13,88	35,70	28,10	5,32	0,00
E8	Macrofauna I	C25-C26	11,44	-73,54	300	396	PAL	5dt-AIS	13,89	35,71	28,08	5,35	0,00
E9	Macrofauna I	C29-C30	11,37	-73,76	300	426	PAL	5dt-AIS	13,85	35,70	28,11	5,32	0,01
E10	Macrofauna I	C21-C22	11,49	-73,45	500	353	PAL	5dt-AIS	8,64	34,87	29,26	5,16	0,01
E11	Macrofauna I	C27-C28	11,45	-73,70	500	414	PAL	5dt-AIS	8,44	34,85	29,34	5,16	0,00
E12	Macrofauna I	C31-C32	11,46	-73,86	500	440	PAL	5dt-AIS	8,54	34,86	29,31	5,16	0,02
E13	Macrofauna I	C7-C8	11,39	-74,21	200	535	TAY	5es-AIS	17,40	36,27	27,31	5,94	0,00
E14	Macrofauna I	C35-C36	11,41	-74,17	300	518	TAY	5es-AIS	14,28	35,75	28,04	5,50	0,00
E15	Macrofauna I	C37-C38	11,41	-74,20	300	528	TAY	5es-AIS	16,10	36,06	27,64	5,77	0,00
E16	Macrofauna I	C5-C6	11,43	-74,20	400	522	TAY	5es-AIS	9,92	35,04	28,91	5,17	0,01
E17	Macrofauna I	C33-C34	11,45	-74,02	500	491	TAY	5dt-AIS	8,41	34,86	29,39	5,14	0,01
E18	Macrofauna I	C39-C40	11,42	-74,23	500	525	TAY	5es-AIS	8,43	34,85	29,34	5,16	0,02
E19	Macrofauna I	C41-C42	11,33	-74,28	500	558	TAY	5es-AIS	8,48	34,85	29,32	5,16	0,00
E20	Macrofauna I	C3-C4	11,16	-74,66	200	645	MAG	5dt-AIS	17,90	36,35	27,23	5,86	0,00
E21	Macrofauna I	C45-C46	11,20	-74,29	280	591	MAG	5es-AIS	15,59	35,97	27,75	5,68	0,00
E22	Macrofauna I	C49-C50	11,09	-75,26	300	759	MAG	5dt-AIS	13,27	35,60	28,22	5,44	0,00
E23	Macrofauna I	C47-C48	10,47	-75,71	280	852	MAG	5dt-AIS	15,36	35,95	27,87	5,65	0,00
E24	Macrofauna I	C1-C2	11,23	-74,66	400	637	MAG	5dt-AIS	10,31	35,13	28,83	5,09	0,00
E25	Macrofauna I	C43-C44	11,25	-74,65	470	634	MAG	5dt-AIS	9,03	34,95	29,21	5,04	0,00

Continuación Anexo I

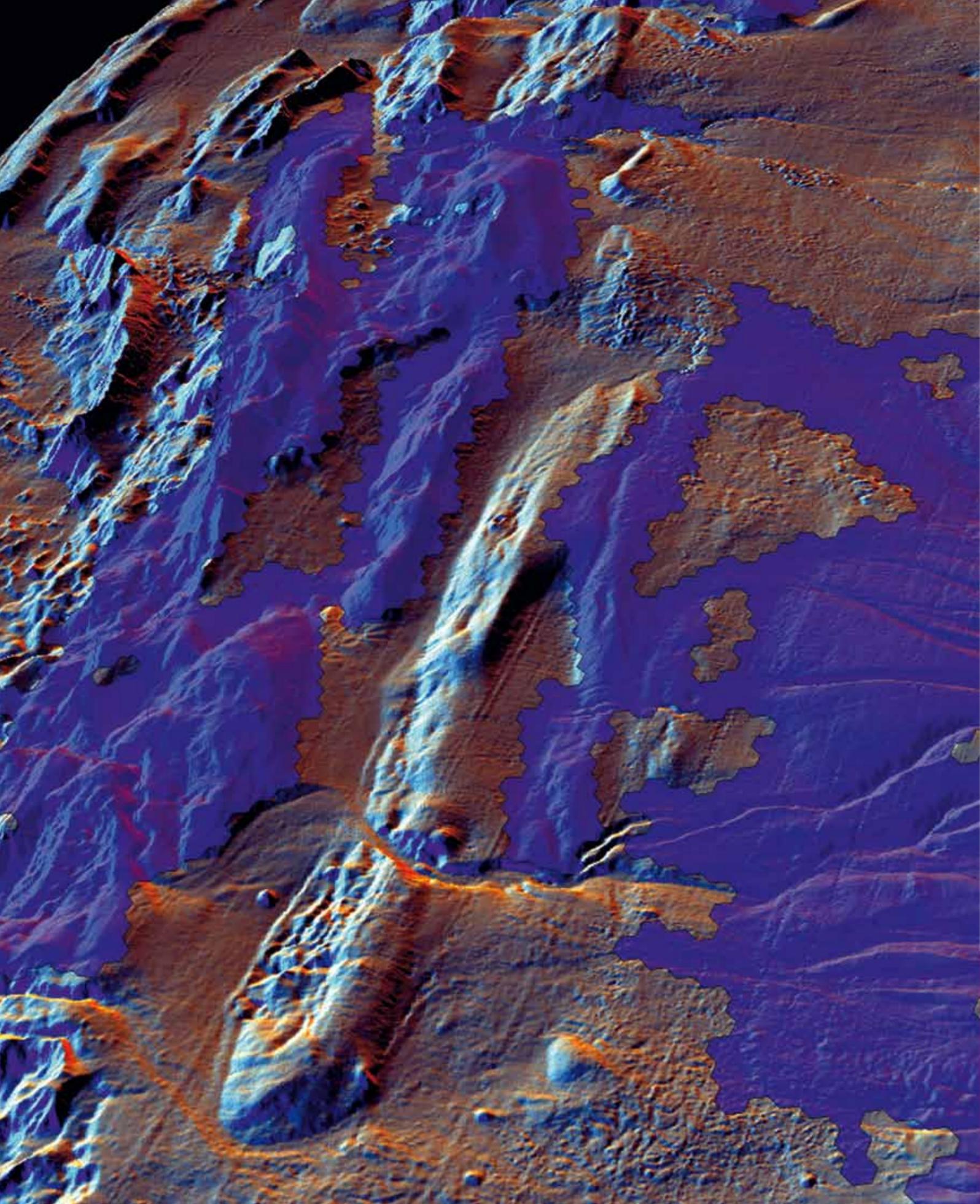
Est.	Cam.	Arr.	Lat.	Long.	Prof. (m)	Dist. (Km)	Ecorr.	Pais.	Temp. (°C)	Sal.	Dens. (Sigma T)	O2% (O2%)	Chl. (µg/l)
E26	Macrofauna I	C53-C54	11,12	-75,13	500	708	MAG	5fc	9,28	35,00	29,30	5,04	0,01
E27	Macrofauna I	C51-C52	11,13	-75,23	500	753	MAG	5dt-AIS	9,48	35,04	29,26	4,98	0,00
E28	Macrofauna I	C75-C76	10,15	-76,01	300	1048	ARCO	5dt-AIS	14,14	35,75	28,08	5,46	0,00
E29	Macrofauna I	C73-C74	9,95	-76,15	280	1079	ARCO	5dt-AIS	14,39	35,79	27,98	5,47	0,00
E30	Macrofauna I	C67-C68	9,76	-76,26	300	1117	ARCO	5dt-AIS	14,35	35,79	28,03	5,44	0,00
E31	Macrofauna I	C77-C78	10,17	-76,03	500	1051	ARCO	5dt-AIS	9,37	35,02	29,28	5,03	0,00
E32	Macrofauna I	C71-C72	9,89	-76,24	500	1092	ARCO	5fc	8,91	34,95	29,38	5,05	0,01
E33	Macrofauna I	C69-C70	9,82	-76,27	500	1100	ARCO	5fc	8,84	34,95	29,40	5,05	0,00
E34	Macrofauna I	C63-C64	9,46	-76,43	300	1185	DAR	5fc	14,11	35,75	28,08	5,41	0,00
E35	Macrofauna I	C59-C60	9,27	-76,48	300	1212	DAR	5dt-AIS	13,56	35,66	28,19	5,34	0,00
E36	Macrofauna I	C55-C56	9,04	-76,61	300	1273	DAR	4pl-ar	14,23	35,76	28,05	5,41	0,00
E37	Macrofauna I	C65-C66	9,51	-76,45	500	1180	DAR	5fc	9,37	35,02	29,28	5,03	0,00
E38	Macrofauna I	C61-C62	9,31	-76,49	500	1204	DAR	5fc	12,13	35,43	28,52	5,14	0,00
E39	Macrofauna I	C57-C58	9,09	-76,62	500	1267	DAR	5dt-AIS	8,91	34,95	29,38	5,05	0,01
E40	Macrofauna II	C92-93	12,53	-72,20	500	73	GUA	5es-AIS	8,89	34,94	29,32	5,19	0,04
E41	Macrofauna II	C112-113	11,38	-73,74	300	423	PAL	5dt-AIS	13,89	35,71	28,09	5,35	0,00
E42	Macrofauna II	C149-150	9,79	-76,29	500	1112	ARCO	5fc	8,73	34,93	29,44	5,05	0,00
E43	Macrofauna II	C153-154	9,75	-76,26	300	1117	ARCO	5dt-AIS	14,63	35,83	27,96	5,47	0,00
E44	Macrofauna II	C85-86	12,48	-71,70	20	18	GUA	4pa-gu	25,27	36,81	24,71	6,98	0,50
E45	Macrofauna II	C87-C88	12,49	-71,73	70	15	GUA	5es-ASS	22,92	36,85	25,67	5,88	0,31
E46	Macrofauna II	C89-C90	12,51	-71,75	150	12	GUA	5es-ASS	19,73	36,60	26,71	5,72	0,10
E47	Macrofauna II	C94-C95	12,12	-72,66	150	222	GUA	4pa-gu	19,27	36,53	26,79	5,67	0,10
E48	Macrofauna II	C96-C97	12,06	-72,64	70	230	GUA	4pa-gu	24,44	36,76	25,14	6,13	0,35
E49	Macrofauna II	C98-C99	11,89	-72,62	20	248	GUA	4pa-gu	25,78	36,74	24,51	6,97	0,20
E50	Macrofauna II	C100-C101	11,43	-73,46	150	360	PAL	5dt-AIS	22,04	36,74	26,18	5,55	0,10

Continuación Anexo I

Est.	Cam.	Arr.	Lat.	Long.	Prof. (m)	Dist. (Km)	Ecorr.	Pais.	Temp. (°C)	Sal.	Dens. (Sigma T)	O2% (O2%)	Chl. (µg/l)
E51	Macrofauna II	C102-C103	11,40	-73,47	70	387	PAL	5dt-ASS	24,72	36,70	25,02	6,11	0,33
E52	Macrofauna II	C104-105	11,29	-73,46	20	375	PAL	4pa-pa	25,91	36,61	24,36	6,80	0,28
E53	Macrofauna II	C108-C109	11,31	-73,78	70	461	PAL	4po-pa	24,72	36,71	25,02	6,12	0,31
E54	Macrofauna II	C110-C111	11,34	-73,77	150	457	PAL	5dt-ASS	22,04	36,74	26,18	5,55	0,10
E55	Macrofauna II	C114-115	11,47	-73,67	500	411	PAL	5dt-AIS	8,41	34,85	29,37	5,15	0,01
E56	Macrofauna II	C116-C117	11,34	-74,09	20	506	TAY	5es-ASS	26,57	36,37	24,00	6,94	0,37
E57	Macrofauna II	C118-C119	11,36	-74,11	70	509	TAY	5es-ASS	24,60	36,69	25,06	6,25	0,28
E58	Macrofauna II	C120-C121	11,39	-74,14	150	514	TAY	5es-ASS	20,36	36,63	26,56	5,60	0,10
E59	Macrofauna II	C122-C123	11,39	-74,18	150	532	TAY	5es-AIS	20,35	36,63	26,57	5,59	0,10
E60	Macrofauna II	C124-C125	11,34	-74,18	70	542	TAY	5es-ASS	24,98	36,67	24,92	6,40	0,36
E61	Macrofauna II	C126-C127	11,30	-74,17	26	546	TAY	5es-ASS	26,55	36,38	24,04	6,94	0,40
E62	Macrofauna II	C128-C129	11,10	-74,68	20	652	MAG	4pl-gs	26,73	36,35	23,91	6,88	0,20
E63	Macrofauna II	C130-C131	11,15	-74,69	70	658	MAG	5dt-ASS	25,51	36,68	24,76	6,84	0,20
E64	Macrofauna II	C132-C133	11,10	-74,90	150	682	MAG	5dt-AIS	20,09	36,62	26,63	5,60	0,10
E65	Macrofauna II	C134-C135	10,94	-75,11	20	728	MAG	4po-ga	28,32	35,94	23,08	6,94	0,10
E66	Macrofauna II	C136-C137	11,02	-75,14	70	737	MAG	5dt-ASS	25,73	36,59	24,62	6,91	0,50
E67	Macrofauna II	C138-C139	11,04	-75,19	150	742	MAG	5dt-ASS	20,43	36,67	26,56	5,66	0,10
E68	Macrofauna II	C140-141	10,54	-75,62	300	839	MAG	5dt-AIS	13,84	35,70	28,13	5,43	0,00
E69	Macrofauna II	E142-143	10,54	-75,65	500	843	MAG	5dt-AIS	9,16	34,99	29,33	5,03	0,00
E70	Macrofauna II	C144-C145	10,09	-75,94	150	1038	ARCO	4pl-ac	21,14	36,71	26,41	5,69	0,10
E71	Macrofauna II	C147-C148	10,00	-75,78	67	1018	ARCO	4po-ac	26,12	36,60	24,49	7,07	0,30
E72	Macrofauna II	C151-C152	9,70	-76,11	89	1135	ARCO	4pl-ac	25,72	36,68	24,77	6,99	0,31
E73	Macrofauna II	C155-C156	9,79	-76,23	89	1105	ARCO	4po-ac	25,49	36,66	24,83	6,72	0,54
E74	Macrofauna II	C157-C158	9,55	-75,68	20	967	MOR	4pl-gm	28,82	36,01	22,98	6,87	0,10
E75	Macrofauna II	C159-C160	9,29	-76,46	150	1208	DAR	5dt-AIS	19,58	36,57	26,76	5,69	0,09

Continuación Anexo I

Est.	Cam.	Arr.	Lat.	Long.	Prof. (m)	Dist. (Km)	Ecorr.	Pais.	Temp. (°C)	Sal.	Dens. (Sigma T)	O2% (O2%)	Chl. (µg/l)
E76	Macrofauna II	C162-C163	8,99	-76,70	150	1317	DAR	5dt-AIS	20,60	36,65	26,51	5,61	0,10
E77	Macrofauna II	C164-C164	9,02	-76,57	70	1278	DAR	5dt-ASS	25,75	36,59	24,64	6,77	0,31
E78	Macrofauna II	C165-166	8,98	-76,46	20	1290	DAR	4pl-ar	25,75	36,59	24,64	6,77	0,31
E79	Macrofauna II	C167-168	9,07	-76,37	20	1237	DAR	4pl-ar	28,46	35,97	23,05	6,83	0,19
E80	Macrofauna II	C169-170	9,78	-75,71	20	943	MOR	4pl-ac	28,85	36,00	22,95	6,85	0,10
E81	ANHI	ME247	11,15	-74,79	200	669	MAG	5dt-AIS	18,50	36,43	27,08	5,80	0,00
E82	ANHI	M249	11,15	-74,45	300	610	MAG	5es-AIS	14,02	35,72	28,07	5,41	0,00
E83	ANHI	M250	11,14	-74,39	300	603	MAG	5es-AIS	15,27	35,93	27,81	5,53	0,00
E84	ANHI	M251	11,15	-74,38	300	602	MAG	5es-AIS	12,99	35,54	28,25	5,36	0,00
E85	ANHI	G253-254	12,55	-71,87	300	22	GUA	5es-AIS	14,00	35,71	27,90	5,64	0,01
E86	ANHI	G255	12,68	-72,06	800	47	GUA	5es-APC	6,68	34,79	30,72	5,42	0,00
E87	ANHI	G256-257	12,34	-72,45	300	113	GUA	5es-AIS	21,07	36,69	26,33	5,53	0,10
E88	ANHI	G258	12,35	-73,00	900	177	GUA	5es-APC	6,26	34,79	31,07	5,68	0,00
E89	ANHI	M259-260	11,51	-73,39	300	347	GUA	5dt-AIS	11,11	35,26	28,64	5,18	0,00
E90	ANHI	M261	11,37	-74,37	800	570	TAY	5cs	6,31	34,77	30,99	5,58	0,00
E91	ANHI	F263	11,06	-75,42	500	777	MAG	5fc	9,10	34,98	29,35	5,03	0,00
E92	ANHI	F264	10,33	-75,90	500	878	ARCO	5fc	9,10	34,98	29,35	5,03	0,00
E93	ANHI	F265	9,93	-76,22	500	1087	ARCO	5fc	9,10	34,98	29,35	5,03	0,00
E94	ANHI	F266	9,63	-76,36	500	1163	ARCO	5fc	9,10	34,98	29,35	5,03	0,00
E95	ANHI	F267	9,13	-76,60	500	1263	DAR	5fc	9,10	34,98	29,35	5,03	0,00
E96	ANHI	F268	8,99	-76,76	500	1323	DAR	5dt-AIS	9,10	34,98	29,35	5,03	0,00



# 12

## ÁREAS SIGNIFICATIVAS PARA LA BIODIVERSIDAD

*David Alonso Carvajal<sup>1</sup>, Carolina Segura-Quintero<sup>2</sup>, Carlos Torres<sup>2\*</sup>, Daniel M. Rozo-Garzón<sup>2</sup>,  
José Luis Espriella<sup>2</sup>, Jiner A. Bolaños<sup>2</sup> y Ángela Cecilia López<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - Invemar, Programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos, Cerro de Punta Betín, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: [dalonso@invemar.org.co](mailto:dalonso@invemar.org.co)

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - Invemar, Programa de Investigación para la Gestión Marina y Costera, Cerro de Punta Betín, Santa Marta, Colombia Correo electrónico: [csegura@invemar.org.co](mailto:csegura@invemar.org.co) / [drozo@invemar.org.co](mailto:drozo@invemar.org.co) / [jose\\_espriella@invemar.org.co](mailto:jose_espriella@invemar.org.co) / [jiner\\_bolanos@invemar.org.co](mailto:jiner_bolanos@invemar.org.co) / [alopez@invemar.org.co](mailto:alopez@invemar.org.co)

\* Dirección actual: [catorresa2007@hotmail.com](mailto:catorresa2007@hotmail.com)

## RESUMEN

Con el fin de identificar áreas significativas para la biodiversidad (ASB) en los ambientes marinos profundos del Caribe colombiano (170 a 3000m), se partió de la identificación de 32 objetos de conservación como elementos de diversidad biológica o sustitutos de esta, que serán foco de los esfuerzos de planificación a diferentes niveles de organización biológica (paisajes, ecosistemas, hábitats, comunidades y especies) y diferentes escalas geográficas. La selección de objetos incluyó diversos paisajes, entre los que se encuentran las montañas y cañones submarinos, asociados recientemente a una gran riqueza y diversidad de especies y endemismos de acuerdo con otros estudios a nivel internacional; así mismo se identificaron especies importantes como corales de profundidad, presentes en ambientes reductores, en listas rojas y CITES, entre otros; la definición de estos objetos y las respectivas metas de conservación permitió generar un portafolio de 43 ASB, las cuales constituyen la base donde deben concentrarse a futuro los diferentes esfuerzos de investigación, manejo y conservación de estos espacios marinos y así garantizar la representatividad de la biodiversidad en el Caribe y su preservación en el tiempo.

El principio de precaución juega un papel importante en este proceso al tener aún alto grado de incertidumbre sobre las comunidades presentes en estos ambientes particulares, los cuales se podrían encontrar a futuro amenazados por actividades antropogénicas como la minería, explotación de hidrocarburos y pesca de arrastre.

**Palabras clave:** *Áreas significativas para la biodiversidad, conservación, paisajes, ambientes profundos, Caribe colombiano.*

## ABSTRACT

In order to identify Biodiversity Significant Areas (ASB) from the Colombian Caribbean deep sea (170 to 3000m), 32 conservation objects were identified as elements of biological or diversity surrogates along planning effort areas, using different biological organization levels (seascapes, habitats, communities and species) and different geographical scales. The selection of objects included seascapes, such as seamounts and canyons, associated recently with great diversity and species richness as well as endemism in agreement with other studies worldwide; likewise important species such as cold water corals and red book and CITES were identified. The definition of these objects and the respective goals of conservation allowed generating a portfolio of 43 ASB, which constitute the base where future efforts of research, management and conservation must concentrate. These areas aimed to guarantee the representation of biodiversity in the Caribbean and its preservation over time. The principle of precaution plays an important role in this process due to a high degree of uncertainty on the permanence of communities in these particular environments, which might be threatened by human activities into the future such as, oil exploitation or fishing bottom trawling.

**Key words:** *Biodiversity Significant Areas, conservation, seascape, deep realm, Colombian Caribbean.*

## INTRODUCCIÓN

Los ambientes profundos en el mar abarcan aproximadamente el 64% de los océanos del mundo (202 millones de km<sup>2</sup>) (Roberts 2002). En el pasado la creencia de que estos ambientes representaban uno de los sistemas más estables y menos productivos del planeta ha sido desvirtuada gracias a las recientes investigaciones científicas con nueva tecnología y el interés de algunos sectores productivos por evaluar potenciales recursos en los lechos marinos.

Una de las regiones con mayor interés en la actualidad es el margen continental, el cual comprende la zona de transición desde el continente hasta las llanuras abisales adyacentes, incluyendo la plataforma, el talud, las elevaciones continentales, e incluso el margen insular (OHI 2001). Esta porción del lecho marino está caracterizada por multiplicidad de procesos geológicos que favorecen el asentamiento de diferentes comunidades, conformadas principalmente por corales, bivalvos, briozoos, esponjas y gusanos de mar (vestimentífera), los cuales a su vez, generan el incremento relativo de la diversidad de especies respecto a los fondos adyacentes (Mortensen *et al.* 1995, Koslow 1997, Koslow *et al.* 2000, Korn *et al.* 2003).

Muchas de las especies presentes en estas comunidades por lo general tienen formas de vida muy diferentes a las que se encuentran en aguas más someras, presentando, entre otras características, bajas tasas de crecimiento y reproducción y bajo flujo genético. Estas características los hacen especialmente susceptibles ante las acciones humanas, razón por la cual han sido considerados como prioritarios para su conocimiento y conservación por mecanismos internacionales como la Convención de Diversidad Biológica (CDB 2008).

Paisajes o ecosistemas como montes y cañones submarinos, arrecifes coralinos de profundidad y fuentes hidrotermales son el hábitat de una amplia diversidad de especies (Grassle y Maciolek 1992, Gage 1996). El conocimiento de la mayoría de estos ecosistemas es limitado porque no hay suficiente información de línea base en cuanto a su ecología y función. No obstante, la diversidad biológica que sostienen podría encontrarse seriamente amenazada por actividades como la minería de aguas profundas, tendido de cables submarinos, extracción de petróleo y gas, pero actualmente la mayor amenaza es la pesca comercial de arrastre, la cual está equipada con dispositivos de rodadura y de gran peso (rockhoppers), que impactan directamente sobre los fondos marinos (Davies *et al.* 2007).

Por otro lado, los efectos del cambio climático por el aumento de los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera están alterando el equilibrio químico de los océanos del mundo mediante la reducción del pH (Raven *et al.* 2005), acidificándolo e impactando el crecimiento y composición de comunidades como el fitoplancton y organismos que dependen del carbonato de calcio como los corales de profundidad (Turley *et al.* 2007). Actualmente el 7% del total de CO<sub>2</sub> antropogénico encontrado en el océano ha penetrado hasta profundidades de 1500m (Sabine *et al.* 2004).

Hoy en día muchos países están comenzando a diseñar diversas estrategias para la conservación, el manejo y uso sostenible de hábitats de aguas profundas que van desde medidas altamente restrictivas hasta lineamientos específicos para el manejo de estos ambientes ante diferentes actividades antropogénicas.

En este capítulo como avance en el conocimiento de la biodiversidad marina del talud continental y fondos abisales del Caribe colombiano (170-3000m), se identificaron áreas significativas para la biodiversidad (ASB). Estas áreas constituyen la base sobre la cual deben concentrarse a futuro los diferentes esfuerzos de investigación, manejo y conservación de estos espacios marinos y así garantizar la representatividad de la biodiversidad y su preservación en el tiempo.

Obtener portafolios de ASB requiere la implementación de una metodología de planificación que identifique como pasos críticos, primero, la selección de objetos de conservación (OdC) como elementos de diversidad biológica o sustitutos de esta que serán foco de los esfuerzos de planificación a diferentes niveles de organización biológica (sistemas, paisajes, hábitats, comunidades y especies) y diferentes escalas geográficas (Groves *et al.* 2000); y segundo, la identificación de metas de conservación cuantitativas con el propósito principal de estimar un esfuerzo de manejo y conservación a futuro sobre cada uno de los objetos y garantizar la representación en el área de estudio.

La conservación de los “arreglos naturales” provee condiciones para la supervivencia y persistencia de la mayoría de las especies; se sabe que en los paisajes hay una organización en la cual las especies integran comunidades que, junto con el medio físico, conforman ecosistemas y así mismo una organización de estos en forma de mosaicos, no ocurre al azar (Zonneveld 1995). Si una parte extensa de este arreglo natural se conserva, la gran mayoría de las especies encontrarán en estos sitios el hábitat que requieren para sobrevivir y perpetuarse.

No obstante, dado el escaso conocimiento sobre los procesos ecológicos en estos ambientes profundos, para este análisis no es posible aun definir sitios altamente prioritarios donde se deban aplicar estrategias específicas de conservación pero si identificar áreas con un alto valor en biodiversidad importante para futuras investigaciones y estrategias de manejo en el momento de intervenir estas áreas.

## MÉTODOS

El método empleado en la selección de áreas significativas para la biodiversidad (ASB), considera como marco conceptual el descrito por Groves *et al.* (2000) de planificación para la conservación ecorregional, el cual se esquematiza en la Figura 1.

A partir de la definición del área de estudio (170-3000m), se identificaron y seleccionaron objetos de conservación (OdC), metas de conservación y finalmente las ASB.

### SELECCIÓN DE OBJETOS DE CONSERVACIÓN

La identificación de los OdC consideró dos enfoques de acuerdo a lo propuesto por Groves *et al.* (2000): el

primero llamado filtro grueso que para este análisis se asume a nivel de paisajes y el segundo filtro fino a nivel de especies.

La clasificación de paisajes marinos sobre el talud continental y los fondos abisales, se realizó a partir de cuatro atributos, a saber: (1) morfología, (2) zonación vertical (3) tipo de sustrato y (4) rugosidad del fondo, asumiendo la hipótesis de que al conservar ejemplos múltiples y viables de estos objetos (paisajes) se conservarán también la mayoría de las especies y comunidades contenidas en estos.

El establecimiento de la morfología se basó en el estudio general de las formas del fondo marino visto como un mosaico, donde cada unidad que lo compone corresponde a una clase. Estas clases fueron delimitadas a través del uso de técnicas de teledetección y sistemas de información geográfica, que a partir de la integración de información batimétrica y de pendientes, permitió generar un modelo digital de profundidades que posteriormente fue interpretado, segmentado y clasificado de acuerdo a parámetros definidos por el detalle de la información fuente y la precisión requerida para el análisis. (Invemar-ANH 2008). Entre las formas identificadas se pueden resaltar: abanicos, domos, canales, cañones submarinos, colinas, cuencas, escarpes, faldas, hoyos, llanuras abisales, mesetas, montes submarinos y plataforma continental (OHI 2001).

Para la zonación vertical, el área de estudio se dividió en cinco gradientes de profundidad: (1) 170-300m; (2) 300-800m; (3) 800- 2000m; (4) 2000-3000m y (5) >3000m, dada la influencia de las diferentes masas de agua predominantes conocidas en el Caribe colombiano (Andrade 2000).

Los atributos de tipo de sustrato y rugosidad del fondo, fueron generados a partir de datos obtenidos con ecosonda multihaz (93/98 kHz para zonas de profundidad menor a 500m y de 11.25/12.75 kHz de 500m a 3000m), propor-

cionando imagen retrodispersada para el 8% del área de estudio y datos detallados de profundidad para un 24%.

El tipo de sustrato como atributo ecológico fue clasificado en duro y blando y asignado a cada una de las clases morfológicas preestablecidas. Fue definido a través de la construcción de un algoritmo que incluyó el análisis de la imagen retrodispersada (duro de 8 a 24 dB y blando de 25 a 34 dB) y la pendiente, partiendo de la premisa que a mayor pendiente menor probabilidad de presencia de sedimentos finos (>21°) (Invemar-ANH 2008, Maill 1978).

La rugosidad del fondo permite estimar la complejidad o aspereza del fondo (“desigualdad”), entendida como la relación entre la superficie real entre puntos de diferentes alturas (en tres dimensiones) y el área calculada en un plano entre los mismos puntos (dos dimensiones) (Lundblad *et al.* 2006, Jenesse, 2010). Ésta fue representada y cuantificada a través del uso de la herramienta “Rugosity builder” de ArcGIS (Wright 2005) y clasificada en tres clases (grados de rugosidad) así: alto (>=1.04), medio (1,01 a 1,04) y bajo (<=1,01), denominados para efectos de éste análisis como A, B y C respectivamente.

Para los OdC a nivel de especies, con base en el análisis de información secundaria y criterio de experto, se seleccionaron aquellos objetos claves desde el punto de vista de la biodiversidad, teniendo en cuenta su función ecológica dentro del ecosistema (ej. bioconstructores), nivel de amenaza (lista roja y CITES), distribución restringida en Colombia e importancia de uso.

### DEFINICIÓN DE METAS

Como paso posterior a la identificación y selección de objetos se definieron metas mínimas de conservación para cada uno, con el propósito principal de: (a) estimar un esfuerzo de manejo y conservación a futuro de cada uno de los objetos y (b) garantizar la representación de todos los objetos en el área de estudio.

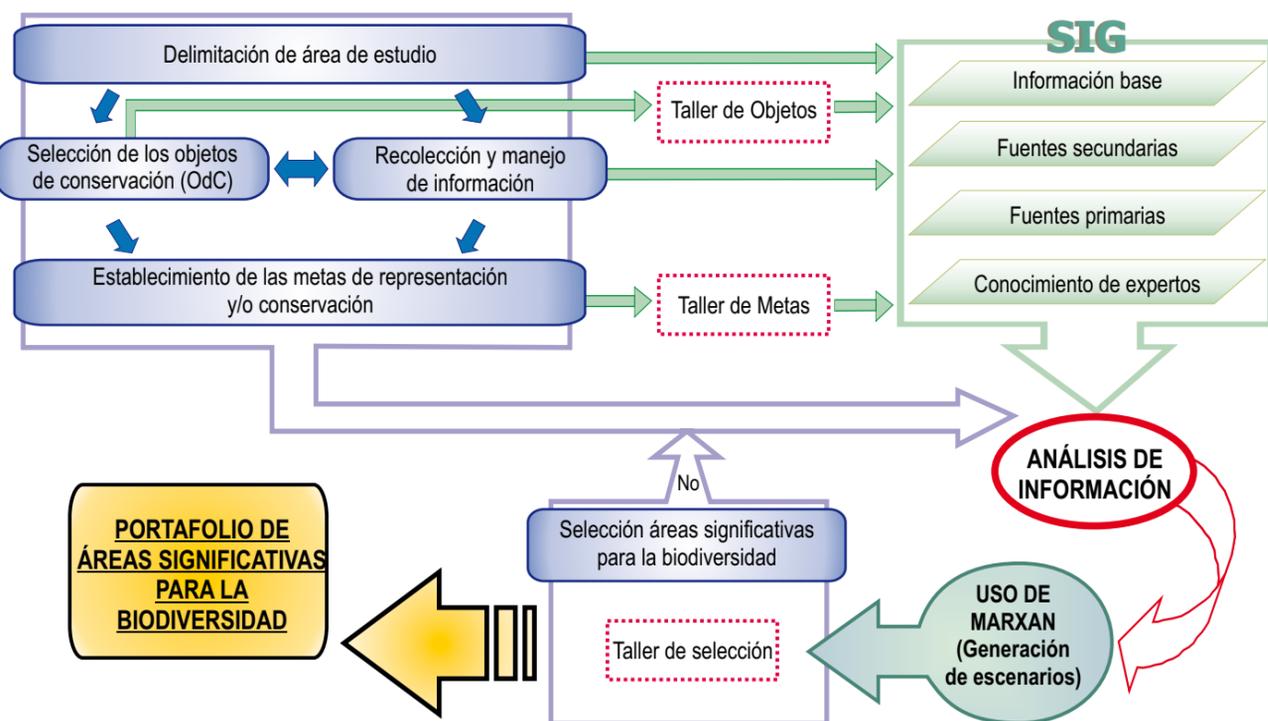


Figura 1. Adaptación de diagrama metodológico “planificación para la conservación ecorregional” descrito por Groves *et al.* (2000).

Dado el escaso conocimiento e información sobre estos ambientes de profundidad en nuestro país, la definición de metas se llevó a partir de la calificación cualitativa de algunos atributos ecológicos a través de la asignación de pesos en escala de 1 y 3; estableciendo el valor más alto a aquellos atributos que expresan una mayor importancia biológica del objeto y que permitan por medio de estrategias de conservación y manejo garantizar la viabilidad en el tiempo.

Los objetos a nivel de paisajes fueron ponderados como se describe a continuación:

Para la morfología del objeto, el peso asignado dependió de los lineamientos en cuanto a las prioridades de conservación que han dado convenios y organizaciones internacionales (UNEP-CDB 2004, CDB 2008) y a partir del conocimiento que existe sobre paisajes similares en otros lugares del mundo, en los que se reconoce su gran importancia en términos de biodiversidad marina (ej. mayor peso a montes, canales y cañones submarinos, menor peso a abanicos y llanuras abisales).

Para la zonación vertical, se partió del supuesto que las áreas menos profundas se encuentran más vulnerables a diversos usos y variadas técnicas de extracción de recursos, por lo tanto les fue asignado un mayor peso que a las áreas menos profundas (Tabla 1).

**Tabla 1.** Asignación de pesos al atributo de zonación vertical (masas de agua) y sigla utilizada para la codificación de paisajes.

Gradientes de profundidad	Sigla	Peso
Inferiores a -170 m	z	3
-170 m a -300 m	a	3
-300 m a -800 m	b	2
-800 m a -2000 m	c	1
-2000 m a -3000 m	d	1
Mayores a 3000 m	e	1

En cuanto al tipo de sustrato, se asume entonces la hipótesis que para comunidades como corales, octocorales e invertebrados (serpúlidos, vermétidos, braquiópodos) es más fácil asentarse en sustratos duros por estar libres de sedimentos finos o en muchos casos “lavados” por corrientes con cierto grado de velocidad, proporcionando así mayor estabilidad para su desarrollo. Es el caso de laderas pronunciadas de montes en las que suelen asentarse este tipo de comunidades, mientras que en cimas de mesetas, cimas de montes o en laderas menos pronunciadas hay una menor probabilidad de asentamiento pues se pueden presentar sustratos blandos (Fredericksen *et al.* 2002). Se asignó un valor de 3 para los objetos con sustrato duro (Tabla 2).

**Tabla 2.** Asignación de pesos para el atributo de tipo de sustrato y sigla utilizada para la codificación de paisajes.

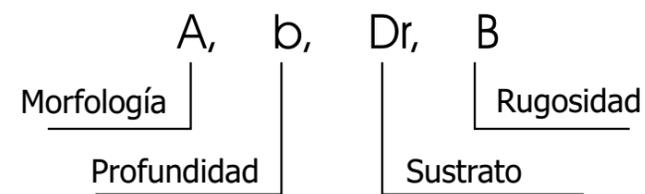
Sustrato	Sigla	Peso
Duro	Dr	3
Blando	Bl	1

El análisis de rugosidad ayuda a identificar áreas potencialmente con alta biodiversidad, partiendo del supuesto que a mayor rugosidad, mayor complejidad y heterogeneidad en el paisaje, aumentando así la probabilidad de existencia de nichos disponibles que faciliten la colonización por diferentes organismos bentónicos, así como de numerosas cavidades que ofrecerán refugio a la fauna (ej. zonas de desove) (López de la Rosa 1996); por lo tanto fue asignado para el atributo de rugosidad del fondo, mayor peso al grado alto (Tabla 3).

**Tabla 3.** Asignación de pesos para el atributo de rugosidad del fondo y sigla utilizada para la codificación de paisajes.

Grado de Rugosidad	Sigla	Peso
Alto	A	3
Medio	B	2
Bajo	C	1

Fue realizada una codificación de paisajes con fines prácticos para la identificación resumida de cada objeto de filtro grueso, a partir de la agrupación de las siglas establecidas para cada uno de los atributos descritos anteriormente, tal como se ilustra en la Figura 2 (Invemar-ANH, 2010).



**Figura 2.** Codificación de paisajes para cada objeto de conservación (paisaje) en el Caribe colombiano. (A) abanico, (b) profundidad menor a 170m, (Dr) sustrato duro y (B) rugosidad media.

Para determinar la meta de conservación de los objetos a nivel de especies, se partió de la importancia ecológica documentada en otros lugares del mundo y de las prioridades de conservación que se han establecido en diferentes convenios y organizaciones internacionales (CDB 2008). Esto permitió evaluar la vulnerabilidad frente a potenciales amenazas como explotación de hidrocarburos y pesca de arrastre principalmente.

## DEFINICIÓN DE PORTAFOLIO DE ÁREAS SIGNIFICATIVAS PARA LA BIODIVERSIDAD

Para la integración de información que permitiera la definición de las áreas significativas para la biodiversidad (ASB), se empleó la herramienta tipo soporte de decisiones llamada MARXAN (versión 1.8.2) diseñada en Australia por Ball y Possingham (2000), utilizada en los últimos años para diversos procesos de planificación marina (Possingham *et al.* 2000, Beck y Odaya 2001, Stewart y Possingham 2002, Sala *et al.* 2002, Areces *et al.* 2003, Leslie *et al.* 2003).

Se definió una grilla de 137154 unidades de planificación (UP) cada una de 64,9 ha aproximadamente y forma hexagonal, de tal manera que cubriera en su totalidad el área de estudio. Su tamaño y forma fueron definidos a partir de la evaluación del tamaño relativo de los objetos de conservación. La UP, corresponde entonces a la unidad de análisis en cuyos términos se entregan todos los resultados del proceso.

Para la generación de los portafolios, se utilizó el algoritmo heurístico de recombinación simulada (simulated annealing), el cual optimiza automáticamente la selección de todas aquellas UP que en suma permiten cumplir con las metas de conservación preestablecidas abarcando una menor área. A diferencia de otros algoritmos empleados con el mismo fin, numerosos autores reconocen su potencia (McDonnell *et al.* 2002, Stewart *et al.* 2003).

La función objetivo utilizada por MARXAN, empleó las variables descritas en la Tabla 4.

La función objetivo utilizada es:

$$\text{Costo total del portafolio} = \sum \text{costo} + \text{BLM} * \sum \text{perímetro} + \sum \text{penalización}$$

MARXAN proporcionó diferentes portafolios, de los cuales a través de un análisis de eficiencia fue seleccionado el que implicara que todos los OdC estuvieran representados y cumplieran con las metas de conservación preestablecidas. Entre más se aproxima a 1 mayor es la eficiencia.

$$\text{Eficiencia} = 1 - (\text{No. de UP seleccionadas} / \text{No. total de UP})$$

Las simulaciones se hicieron con 100 corridas de un millón de iteraciones cada una, evaluando diferentes niveles de agregación. Fueron probados BLM entre 0,001 y 1.

**Tabla 4.** Definición de términos de la función objetiva utilizada por MARXAN.

Término	Definición
Costo	Se refiere al valor asignado a cada unidad de planificación (UP), el cual puede ser el área de la UP o un valor calculado que represente el costo económico, social o una combinación de estos. La “Σ costo” es la suma del costo de cada una de las UP seleccionadas en el portafolio.
Perímetro	Es la suma de la longitud de los lados de una o de un grupo de UP en cuyo caso corresponde a la suma de los lados externos de la agrupación. La “Σ perímetro” es entonces la suma de los perímetros de todas las UP seleccionadas o grupos de estas.
Modificador de Longitud de Perímetro -BLM	Corresponde al factor de modificación de la longitud del perímetro, el cual controla la importancia de ésta variable en la función objetivo, en donde a mayor BLM menor fragmentación de la solución.
Penalización	Es un valor adicional que es sumado a la función por cada meta que no se cumpla, afectando directamente el costo total del portafolio. Por lo tanto presiona para que la solución generada cumpla a cabalidad con las metas de conservación preestablecidas y así obtener un menor costo. La “Σ penalización” es la suma del valor establecido tantas veces como metas de conservación no cumplidas.

Teniendo en cuenta la reconocida importancia para el país de los tres bancos de corales de profundidad localizados recientemente y presentes en el área de estudio (Reyes *et al.* 2005, Santodomingo *et al.* 2007), las áreas en las que se distribuyen, fueron seleccionadas a priori como ASB, siendo marcadas como “áreas semilla”, con el fin de que estas quedaran incluidas como parte del portafolio final, aportando directamente a la meta de conservación del objeto.

Así mismo, se identificaron siete OdC de filtro fino, determinando la abundancia en hectáreas para cada uno (Tabla 5). En general estas especies con respecto al área de estudio presentaron porcentajes de cobertura muy bajos (<0,4%) a excepción de los corales de profundidad (4%). La descripción de estos objetos se puede consultar en el Anexo 2.

**Definición de metas**

La calificación de criterios arrojó como resultado metas de conservación del 100% para todos los objetos de filtro fino o especies (Tabla 6). Por otra parte, para los paisajes las metas establecidas una vez calificados los atributos ecológicos y la vulnerabilidad fueron de 3, 5 y 100%, predominando para estas últimas, paisajes como montañas y cañones submarinos, canales, colinas, montes y lomas con características de atributos de sustrato duro y rugosidad de grado alto y medio (Tabla 6).

**RESULTADOS**

**Selección de objetos de conservación**

Se identificaron en total 25 OdC de filtro grueso determinando la abundancia en hectáreas para cada uno. Paisajes importantes en términos de biodiversidad como cañones submarinos (1,4%), canales (1,8%) montes submarinos (3,3%), colinas y lomas (3,9%) y colina –colina alargada (4,9%) presentaron bajos porcentajes de cobertura con respecto al área total de estudio (Tabla 5). La descripción de estos objetos se puede consultar en el Anexo 1.

**Tabla 5.** Abundancia (ha) y cobertura (%) con respecto al total del área de estudio, de los objetos de conservación en el talud continental y fondos abisales del Caribe colombiano (la descripción de estos objetos se puede consultar en el anexo 1)

	Número	Objeto de conservación	Abundancia (ha)	Cobertura (%)*
	1	Abanico submarino (A)	131952,5	1,5
	2	Campo de domos (CD)	1236,21	0,01
	3	Canal (C)	163037,16	1,8
	4	Cañón (Ca)	125205,64	1,4
	5	Colina (Co) - colina alargada (CAL)	428457,65	4,9
	6	Colinas y lomas (CL)	342757,96	3,9
	7	Cono (Cn)	24772,03	0,3
	8	Cuenca (Cc)	498047,19	5,6
	9	Delta (De)	421936,32	4,8
	10	Domo (D)	32049,59	0,4
	11	Escarpe (E)	2752748,34	31,2
	12	Espolón (Ep)	333788,47	3,8
<b>Filtro grueso (paisajes)</b>	13	Falda (F)	1551407,97	17,6
	14	Hoyo (H) – hundimiento (Hu)	33109,66	0,4
	15	Levee – bordo (Le)	151331,02	1,7
	16	Llanura abisal (LA)	236708,98	2,7
	17	Llanura abisal con ondulaciones (LAO)	142170,81	1,6
	18	Loma (Lo)– loma aislada (LoA)	21119,95	0,2
	19	Meseta (M)	21408,67	0,2
	20	Monte submarino (MS)	292342,47	3,3
	21	Movimiento en masa (MM)	25299,3	0,3
	22	Plataforma continental (PC)	31214,62	0,4
	23	Terraza (T)	536251,25	6,1
	24	Valle submarino (Vs)	417424,99	4,7
	25	Zona de flujo (ZF)	117815,9	1,3
	26	Especies de corales de profundidad (CoP)	357274,85	4,0
	27	Especies de ambientes reductores (AmR)	41571,21	0,5
<b>Filtro fino (especies)</b>	28	Especies bioconstructoras (Bic)	351,81	< 0,01
	29	Especies de interés en bioprospección (Bip)	4,61	< 0,01
	30	Especies susceptibles a explotación (SuE)	1211,45	< 0,01
	31	Especies amenazadas (Amz)	2037,15	< 0,02
	32	Especies de distribución restringida (DiR)	778,49	< 0,01

(\*) área total del área de estudio: 8833595 ha.

**Tabla 6.** Metas de conservación para los objetos de conservación de filtro grueso (paisaje) en el Caribe colombiano. Rango de profundidad: (a) 170m a 300m, (b) 300m a 800m, (c) 800m a 2000m, (d) 2000m a 3000m, (e) mayores a 3000m y (z) inferiores a 170m; tipo de sustrato: (Bl) blando y (Dr) duro; rugosidad del fondo:(A) grado alto, (B) grado medio y(C) grado bajo.

OdC	Rango de profundidad	Sustrato	Rugosidad	Área total (ha)	Meta (%)	Meta (ha)
1. Abanico submarino (A)	a	Bl	B	1298,46	5	64,92
			C	678,07	5	33,90
	b	Bl	C	3574,1	3	107,22
	d	Dr	B	3036,02	100	3036,02
			C	3440,48	5	172,02
		--	--	103614,19	3	3108,43
2. Campo de domos (CD)	e	--	--	16241,35	5	812,07
	z	Bl	C	69,83	5	3,49
3. Canal (C)	c	Bl	A	475,21	5	23,76
			B	761	3	22,83
	a	Bl	A	244,94	100	244,94
			B	278,51	100	278,51
	b	Bl	A	313,73	100	313,73
			B	10665,15	100	10665,15
			C	2841,9	5	142,10
		Dr	A	913,34	100	913,34
			B	1174,89	100	1174,89
			C	109,45	100	109,45
	c	Bl	A	8756,24	100	8756,24
			B	47987,28	5	2399,36
		C	99,74	5	4,99	
	Dr	A	9421,33	100	9421,33	
		B	18962,23	100	18962,23	
d	Bl	A	6200,75	100	6200,75	
		B	34133,75	5	1706,69	
		C	20663,78	5	1033,19	
e	Bl	B	241,97	3	7,26	
z	Bl	A	28,18	100	28,18	
4. Cañón (Ca)	a	Bl	A	2201,05	100	2201,05
			B	404,42	100	404,42
			C	414,05	100	414,05
		--	--	4294,66	100	4294,66
	b	Bl	A	116,69	100	116,69
			B	17235,74	100	17235,74
			C	2418,96	5	120,95
		Dr	A	307,03	100	307,03
			B	28,96	100	28,96
			C	1271,51	100	1271,51
		--	--	6858,89	100	6858,89
	c	Bl	A	144,34	100	144,34
		B	35680,76	5	1784,04	
		C	7317,68	5	365,88	
	Dr	A	7779,65	100	7779,65	
		C	840,94	100	840,94	
	--	--	11917,31	100	11917,31	
4. Cañón (Ca)	d	Bl	A	5621,75	100	5621,75
			B	0,01	100	0,01
		Dr	B	19303,24	100	19303,24
	e	Bl	B	632,77	3	18,98
	z	Bl	A	385,47	100	385,47
			C	29,76	100	29,76
	a	Bl	C	198,34	100	198,34
	b	Bl	B	23177,66	100	23177,66
			C	978,21	5	48,91
		Dr	C	565,38	100	565,38
	c	Bl	A	93538,83	5	4676,94
			B	59556,48	5	2977,82
5. Colina (Co) colina alargada (CAL)		Dr	A	77573,75	100	77573,75
			B	21260,4	100	21260,40
			C	8436,32	5	421,82
	d	Bl	A	102573,35	5	5128,67
			B	12808,42	5	640,42
			C	25319,38	100	25319,38
	e	Bl	B	26,9	100	26,90
		Dr	A	1723,17	5	86,16
			C	721,06	100	721,06
	a	--	--	2574,73	100	2574,73
	b	--	--	2735,17	100	2735,17
	c	--	--	110709,11	5	5535,46
d	--	--	226738,95	5	11336,95	
a	Bl	B	521,1	5	26,06	
b	Bl	B	2254,3	5	112,72	
c	Bl	A	4659,84	5	232,99	
d	Bl	B	14464,4	5	723,22	
		A	2872,39	3	86,17	
a	Bl	B	3,81	5	0,19	
b	Bl	C	1301,73	3	39,05	
c	Dr	B	2467,22	100	2467,22	
d	Dr	C	5189,46	5	259,47	
a	--	--	489084,97	3	14672,55	
a	--	--	118421,84	5	5921,09	
b	--	--	214364,2	3	6430,93	
c	--	--	89150,28	5	4457,51	
a	Bl	C	692,65	100	692,65	
b	Bl	A	242,07	100	242,07	
		B	8700,97	5	435,05	
		C	1596,5	5	79,83	
	Dr	B	45,49	100	45,49	
c	Bl	B	860,77	3	25,82	
		A	5962,12	5	298,11	
		B	10787,47	3	323,62	
		C	659,78	3	19,79	
	Dr	A	1889,66	100	1889,66	
		B	536,16	5	26,81	
		C	55,41	5	2,77	
d	Dr	B	20,54	5	1,03	

Continuación Tabla 6.

OdC	Rango de profundidad	Sustrato	Rugosidad	Área total (ha)	Meta (%)	Meta (ha)
11. Escarpe (E)	a	Bl	A	966,91	100	966,91
			B	7017,03	100	7017,03
		--	--	176346,9	5	8817,35
	b	Bl	A	259,57	100	259,57
			B	6398	5	319,90
		--	--	610918,09	5	30545,90
	c	Bl	A	1660,21	5	83,01
		Dr	C	15,92	5	0,80
		--	--	1187727,09	3	35631,81
	d	--	--	759336,54	3	22780,10
	e	--	--	1477,25	5	73,86
	z	Bl	A	269,57	100	269,57
	Dr	B	355,26	100	355,26	
12. Espolón (Ep)	a	--	--	734,39	100	734,39
	b	--	--	7229,03	5	361,45
	c	--	--	166749,53	3	5002,49
	d	--	--	159075,52	3	4772,27
13. Falda (F)	a	Bl	A	4884,89	100	4884,89
			B	5798,46	100	5798,46
			C	2282,31	5	114,12
		Dr	A	559,68	100	559,68
			B	118,29	100	118,29
	b	Bl	A	5808,06	100	5808,06
			B	117512	5	5875,60
			C	3857,08	5	192,85
		Dr	A	7700,23	100	7700,23
			B	5315,87	100	5315,87
			C	8286,41	100	8286,41
	c	Bl	A	5413,99	5	270,70
		B	60428,11	3	1812,84	
	Dr	A	8529,39	100	8529,39	
		B	38203,87	5	1910,19	
	--	--	197589,27	3	5927,68	
d	Bl	B	2905,2	3	87,16	
	Dr	B	6917,35	5	345,87	
	--	--	1002841,54	3	30085,25	
z	Bl	A	234,86	100	234,86	
		B	1057,74	100	1057,74	
		C	525,44	5	26,27	
14. Hoyo (H) – hundimiento (Hu)	a	Bl	B	197,06	5	9,85
	b	Bl	C	581,61	5	29,08
		Dr	B	1021,81	100	1021,81
	c	Bl	A	190,46	5	9,52
			B	7788,71	3	233,66
			C	3615,1	3	108,45
		Dr	A	168,47	100	168,47
			C	427,63	5	21,38
	d	Bl	A	10126,79	5	506,34
			B	8769,39	3	263,08
	e	Bl	B	222,63	3	6,68
	15. Levee – bordo (Le)	b	Bl	B	529,88	5
			C	128,61	3	3,86
		Dr	B	683,67	100	683,67
c		Bl	A	293,87	5	14,69
			B	26121,05	3	783,63
			C	347,7	3	10,43
		Dr	A	11668,24	100	11668,24
			B	3900,24	5	195,01
d		Bl	A	1179,55	5	58,98
			B	104154,75	3	3124,64
		Dr	B	2323,46	5	116,17
16. Llanura abisal (LA)		a	Bl	B	1191,93	5
			C	12,74	5	0,64
	b	Bl	B	5586,97	5	279,35
			C	18657,14	3	559,71
		Dr	C	3257,65	5	162,88
	c	Bl	B	26238,83	3	787,16
			C	91261,28	3	2737,84
	d	Bl	B	24796,49	3	743,89
			C	63636,35	3	1909,09
	e	Bl	B	2046,54	3	61,40
	z	Bl	C	23,06	5	1,15
	a	Bl	A	38,61	100	38,61
		B	375,66	5	18,78	
		C	266,87	5	13,34	
b	Bl	C	48408,06	3	1452,24	
	Dr	C	1220,64	5	61,03	
c	Bl	B	7374,76	3	221,24	
		C	36767,48	3	1103,02	
d	Bl	B	12047,04	3	361,41	
		C	34385,94	3	1031,58	
	Dr	B	1276,97	5	63,85	
z	Bl	A	8,78	100	8,78	
17. Llanura abisal con ondulaciones (LAO)	b	Bl	B	3904,71	100	3904,71
	c	Bl	A	550,57	5	27,53
			B	5490,31	5	274,52
	d	Bl	B	11174,36	5	558,72
b	Bl	A	1319,66	100	1319,66	
		C	3396,69	5	169,83	
19. Meseta (M)	c	Bl	C	4389,32	3	131,68
		Dr	B	7140,61	100	7140,61
	d	Bl	C	5162,39	3	154,87
	a	Bl	B	94,7	100	94,70
20. Monte submarino (MS)	b	Bl	A	156,54	100	156,54
			B	21123,5	100	21123,50
	c	Bl	B	185624,1	5	9281,21
		Dr	B	39840,4	100	39840,40
	d	Bl	B	42622,98	5	2131,15
	e	Bl	A	2334,01	5	116,70
		B	546,24	5	27,31	

Continuación Tabla 6.

OdC	Rango de profundidad	Sustrato	Rugosidad	Área total (ha)	Meta (%)	Meta (ha)
21. Movimiento en masa (MM)	a	Bl	C	139,24	5	6,96
	b	Bl	B	4506,34	5	225,32
	c	Bl	A	6096,86	5	304,84
			B	3503,51	3	105,11
	d	Bl	C	103,86	3	3,12
			A	2472,32	100	2472,32
e	Bl	B	2342,38	5	117,12	
22. Plataforma continental (PC)	a	Bl	B	5122,93	3	153,69
			C	1011,86	3	30,36
	z	Bl	C	234,51	0	0,00
23. Terra-za (T)	c	Bl	B	28006,72	5	1400,34
			C	2973,39	0	0,00
	d	Bl	B	5039,64	3	151,19
			C	7092,44	5	354,62
	d	Bl	B	63588,09	5	3179,40
24. Valle submarino (Vs)	b	Bl	A	2643,3	3	79,30
			C	2562,49	3	76,87
	c	Bl	B	455325,29	3	13659,76
			C	2108,37	5	105,42
25. Zona de flujo (ZF)	d	Bl	B	250820,43	3	7524,61
			C	164496,19	3	4934,89
	c	Bl	A	1545,4	5	77,27
			B	2271,05	5	113,55
			C	941,34	3	28,24
d	Bl	B	12,44	100	12,44	
		C	41054,13	3	1231,62	
d	Bl	A	25546,75	100	25546,75	
		B	4,75	5	0,24	
d	Bl	C	39809,77	3	1194,29	
		Dr	B	6630,27	5	331,51

## PORTAFOLIO DE ÁREAS SIGNIFICATIVAS PARA LA BIODIVERSIDAD

El portafolio de ASB seleccionado presentó una eficiencia de 0,91 a partir de un valor de 0,01 de BLM, el cual incluye más del 92% de las UP que contienen entre cinco y diez OdC (figura 3).

Se identificaron en total 43 ASB equivalentes a un área de 776745 ha es decir un 8,8% del área de estudio (Figura 4). En general, el portafolio cumplió con la mayoría de las metas de conservación propuestas para cada objeto y de acuerdo con la zonación vertical la mayoría de las áreas se encuentran en los dos primeros gradientes, es decir, entre los 170 y 800m.

De las ASB identificadas, se destacan las áreas 4 y 7 frente al golfo de Morrosquillo, el área 16 sobre el cañón de Turipaná y sectores circundantes y la 24 frente al cañón de La Aguja por su alta heterogeneidad de

objetos (entre 16 y 18), el área 2 frente a Arboletes y 5 frente al golfo de Morrosquillo (entre 11 y 15) con una heterogeneidad media (Figura 5). Estas mismas áreas se caracterizan por tener la mayor abundancia de OdC de filtro fino (entre cuatro y seis especies) (Figura 6).

En la Tabla 7, se presenta el listado de OdC que contiene cada una de las 43 ASB identificadas.

## ANÁLISIS

Se encontró que la selección de objetos basada en paisajes y especies permitió la identificación de ASB extensas (entre 180 y 153822 ha), con lo cual se puede lograr áreas más funcionales y con una mayor representatividad de la biodiversidad marina (Day y Roff 2000, Harris y Whiteway 2009). No obstante, es importante complementar en el corto y mediano plazo los vacíos de información de objetos a nivel de especies, ya que muchas de estas se encuentran amenazadas o en peligro por lo que requieren especial atención individual, debido a que declinan mucho más rápido que los hábitats que las soportan (Zacharias y Roff 2001).

Aunque el establecimiento de metas de conservación en ambientes marinos es bastante complejo debido al poco entendimiento de los procesos ecológicos a las diferentes escalas espaciales y temporales, a la fecha se han definido principalmente para objetos de ambientes someros o sobre la plataforma continental (Beck y Odaya 2001, Areces *et al.* 2003, Guevara *et al.* 2004, DeBlieu *et al.* 2005, Morgan *et al.* 2005, Ulloa *et al.* 2006), incluso para Colombia (Alonso *et al.* 2008a,b). Sin embargo para ambientes profundos del talud continental solo se han establecido metas para paisajes reconocidos mundialmente como los corales de profundidad, montes y cañones submarinos, en los que se conoce una alta productividad, endemismos y presencia de comunidades únicas como en fumarolas hidrotermales (hydrothermal vents) y filtraciones frías (cold seeps) (Butler *et al.* 2001).

Las metas de conservación para paisajes con base en la

evaluación de los atributos de morfología, zonación vertical, tipo de sustrato y rugosidad del fondo, proporciona una menor incertidumbre; los últimos dos atributos permiten diferenciar metas mientras el atributo de zonación vertical introduce la variabilidad espacial de los objetos, este último de acuerdo con los resultados alcanzados por el Inveemar en diferentes estudios de macrofauna bentónica entre 50 y 900 m (Macrofauna I y II, Marcoral y ANH I) permite evidenciar cómo es la distribución espacial de la fauna en hábitats profundos y someros, dando una aproximación de la conformación de ensamblajes de especies (ver capítulo 11 de este libro).

El portafolio de ASB obtenido garantiza que en la menor cantidad de área se concentre una amplia diversidad de objetos, por lo que es posible suponer que en estas se deben concentrar esfuerzos para proponer esquemas de manejo y conservación coherentes con las políticas ambientales y sectoriales del país. No obstante, la mayor cantidad de ASB localizadas sobre la franja de los 170 a 800m obedece al mayor conocimiento científico que existe en el Caribe colombiano proveniente de los diferentes cruceros de investigación realizados en los últimos 10 años, por lo que es necesario ampliar el conocimiento y el entendimiento de áreas más profundas con mejor tecnología.

El uso de la herramienta MARXAN para la identificación de ASB no identificadas previamente fue importante, dada la capacidad de combinar gran cantidad de información a diferentes niveles de resolución y permitir una gama de posibles soluciones que cumplieran con las metas de conservación preestablecidas en diferentes escenarios.

El presente ejercicio de planificación es un importante avance en el conocimiento de la biodiversidad en ambientes de profundidad, lo que permite avanzar en las metas adquiridas por Colombia ante el Convenio de Diversidad Biológica. Aunque se trabajó con la mejor información espacial y biológica disponible, la investigación de punta para entender los procesos ecológicos y por ende los atributos ecológicos y definición de paisajes se vuelve una necesidad urgente antes que se pierda la biodiversidad del país ante las potenciales amenazas antropogénicas y el cambio climático.

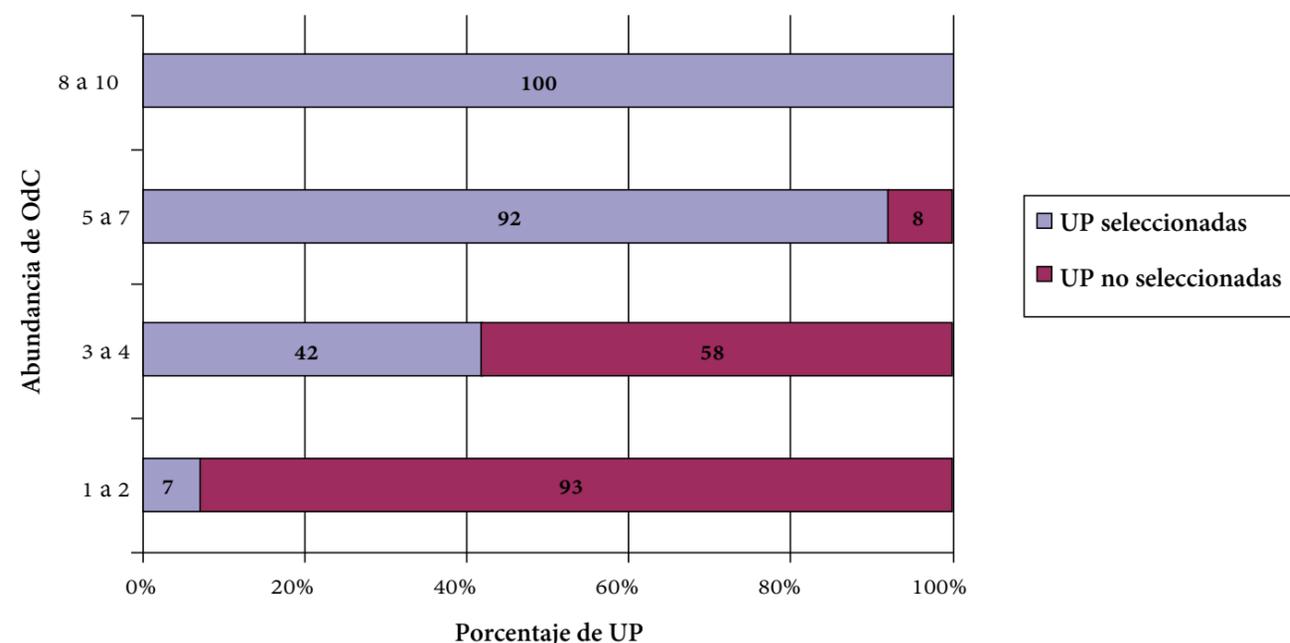


Figura 3. Porcentaje de unidades de planificación (UP) seleccionadas en el portafolio de áreas significativas para biodiversidad (ASB) de acuerdo a la abundancia de objetos de conservación (OdC)

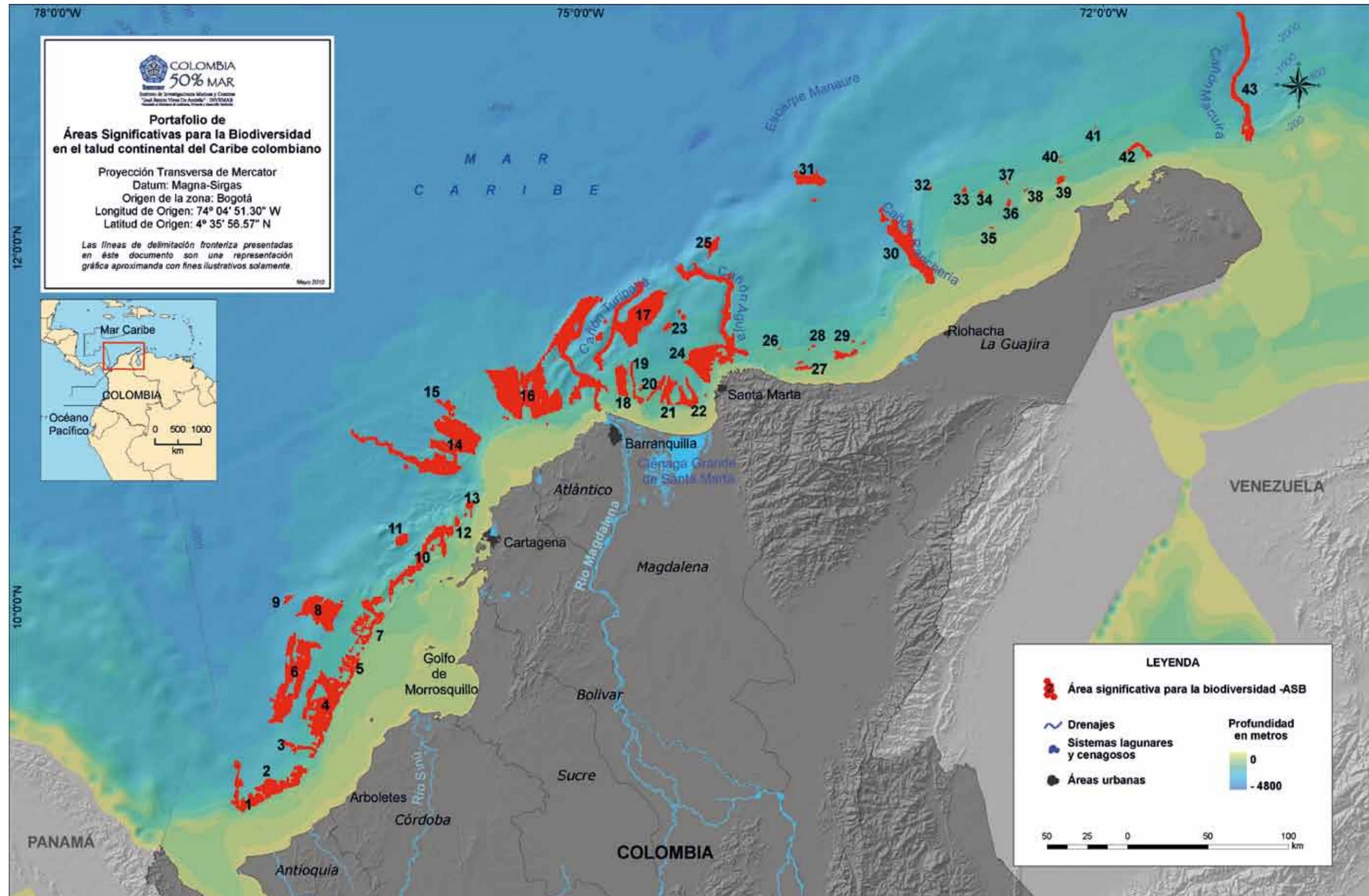


Figura 4. Portafolio de áreas significativas para la biodiversidad en el talud continental (170 y 3000 m) del Caribe colombiano.

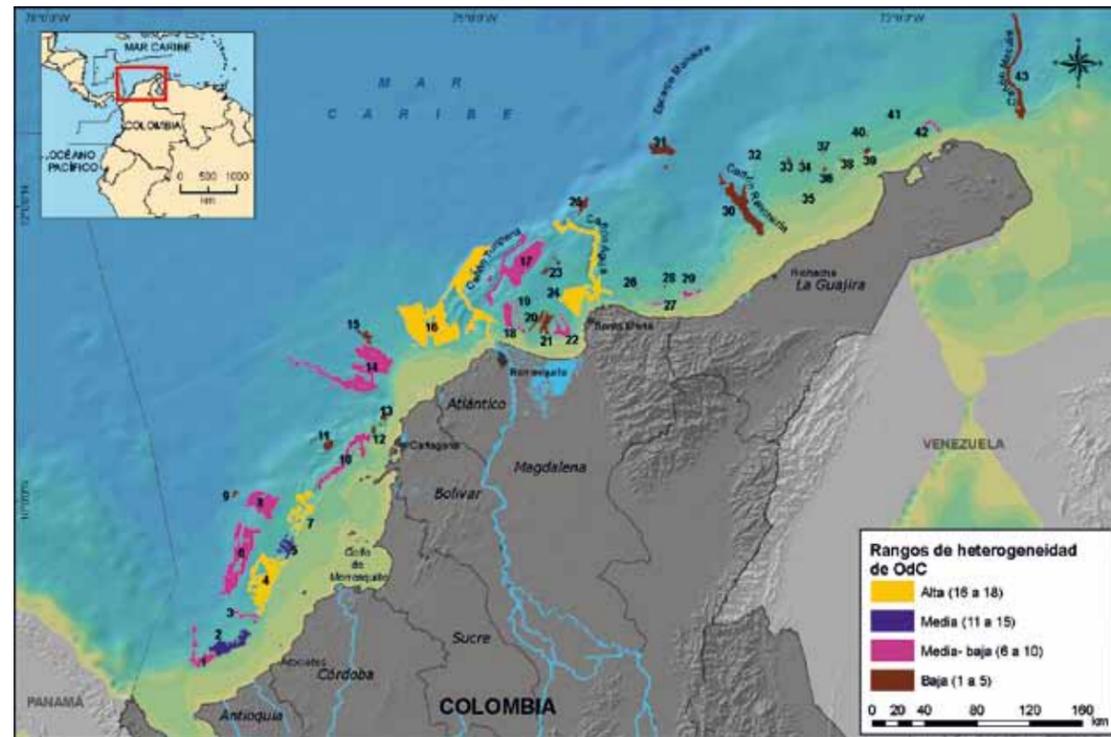


Figura 5. Clasificación de áreas significativas a la biodiversidad (ASB) de acuerdo a la heterogeneidad de objetos de conservación (OdC).

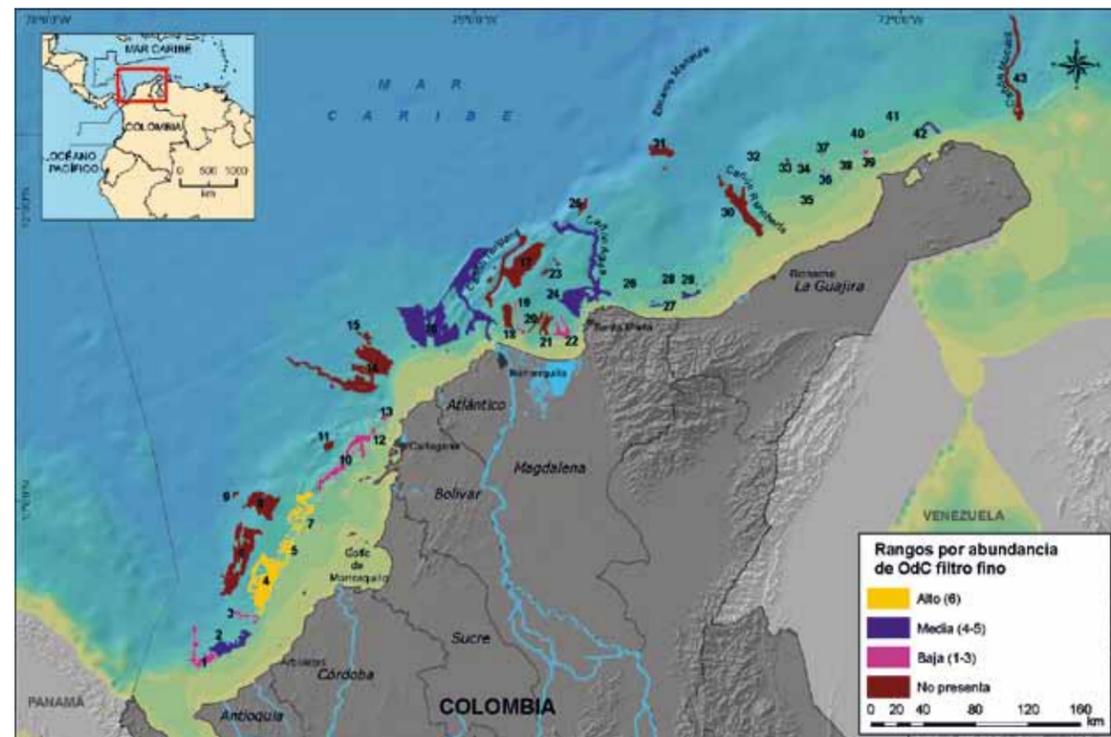


Figura 6. Clasificación de áreas significativas a la biodiversidad (ASB) de acuerdo a la abundancia de objetos de conservación (OdC) de filtro fino (especies).

Tabla 7. Listado de objetos de conservación (OdC) por Área Significativa para la Biodiversidad.

# ASB	Área (ha)	# OdC presentes	OdC presentes	Codificación	Área total de OdC (ha)
1	17824,1	8	Especies de ambientes reductores	AmR	351,94
			Cañón	Ca_b_Bl_C	299,68
			Delta	De_a	974,9
				De_b	166,88
			Domo	D_b_Bl_C	106,77
				D_c_Dr_C	0,07
			Escarpe	E_c	126,09
				F_b	167,53
			F_c	117,57	
			F_a_Dr_A	559,68	
			F_a_Dr_B	118,15	
			F_b_Bl_A	5508,77	
			F_c_Dr_B	282,19	
	F_z_Bl_B	14,63			
	LA_a_Bl_C	2,23			
	LA_b_Bl_B	195,72			
	Llanura abisal	LA_b_Bl_C	1445,84		
		LA_c_Bl_B	191,59		
		LA_c_Bl_C	466,6		
		M_b_Bl_A	1319,66		
		M_c_Bl_C	8,38		
		M_c_Dr_B	5922,38		
2	22722,15	13	Especies de ambientes reductores	AmR	351,93
			Especies susceptibles a explotación	SuE	12,77
			Especies amenazadas	Amz	154,91
			Especies de distribución restringida en Colombia	DiR	33,47
				Ca_a_Bl_A	549,93
				Ca_a_Bl_B	169,96
				Ca_a_Bl_C	35,31
				Ca_b_Bl_A	116,69
				Ca_b_Bl_B	55,98
				Ca_b_Bl_C	2,62
				Ca_b_Dr_A	307,03
				Ca_b_Dr_B	28,96
				Ca_b_Dr_C	4,4
	Ca_z_Dr_C	18,75			
	Cc_a_Bl_B	3,81			
	Cc_b_Bl_C	484,53			
	Cuenca	Cc_b_Dr_B	2467,22		
		Cc_c_Dr_C	306,64		
	Delta	De_a	97,6		
		D_a_Bl_C	692,65		
		D_b_Bl_A	65,76		
		D_b_Bl_B	1465,04		
		D_b_Bl_C	38,16		
3	6223,47	7	Cañón	Ca_a_Bl_B	24,51
				Ca_b_Dr_C	1267,11
				Ca_c_Dr_C	840,94
			Delta	De_b	183,94
				D_b_Bl_A	106,99
				D_b_Bl_C	72,05
			Domo	D_c_Bl_A	727,94
				E_c_Bl_A	149,09
			Escarpe	H_c_Bl_B	11,27
			Hoyo - hundimiento	LAO_a_Bl_C	167,36
				LAO_b_Bl_C	1828,35
				LAO_c_Bl_C	714,21
			4	55335,73	16
Especies susceptibles a explotación	SuE	112,4			
Especies amenazadas	Amz	206,03			
Especies de distribución restringida en Colombia	DiR	34,9			
Especies de ambientes reductores	AmR	4622,31			
Especies bioconstructoras	Bic	37,73			
	A_a_Bl_B	601,14			
	A_a_Bl_C	532,12			
Abanico submarino	A_b_Dr_B	3036,02			
	A_b_Dr_C	673,28			
	A_z_Bl_C	45,62			
	Ca_a_Bl_A	1609,28			
	Ca_a_Bl_B	86,47			
	Ca_a_Bl_C	263,38			
	Ca_b_Bl_B	10974,86			
	Cañón	Ca_b_Bl_C	55,4		
		Ca_c_Bl_A	144,34		
		Ca_c_Bl_B	747,52		
		Ca_z_Bl_A	375,78		
		Ca_z_Dr_C	11,01		
		Co_b_Bl_B	2578,86		
		Co_b_Bl_C	36,13		
	Colina - colina alargada	Co_b_Dr_C	565,38		
		Co_c_Bl_A	1436,27		
		Co_c_Dr_B	1149,53		

Continuación de Tabla 7.

# ASB	Área (ha)	# OdC presentes	OdC presentes	Codificación	Área total de OdC (ha)	
4	55335,73	16	Delta	De_a	1037,04	
				De_b	39,21	
			Domo	D_b_Bl_C	0,14	
				F_a_Bl_A	1651,97	
				F_a_Bl_B	2471,92	
				F_a_Bl_C	1300,61	
				F_b_Bl_A	23,74	
				F_b_Bl_B	557,6	
				F_b_Bl_C	834,13	
			Falda	F_b_Dr_A	1292,21	
				F_b_Dr_B	2927,75	
				F_b_Dr_C	8286,41	
				F_c_Bl_B	130,31	
				F_z_Bl_A	204,32	
				F_z_Bl_B	619,35	
				F_z_Bl_C	371,66	
			Hoyo - hundimiento	H_b_Bl_C	27,18	
				H_c_Bl_C	451,56	
			Llanura abisal con ondulaciones	LAO_b_Bl_C	3590,15	
				LAO_b_Dr_C	766,83	
				LAO_c_Bl_C	69,2	
				LA_b_Bl_C	1127,75	
			Llanura abisal	LA_b_Dr_C	1580,05	
				LA_c_Bl_C	224,97	
			Plataforma continental	PC_z_Bl_C	675,28	
				Especies de corales de profundidad	CoP	214,29
				Especies de ambientes reductores	AmR	2299,12
				Especies susceptibles a explotación	SuE	169,99
				Especies amenazadas	Amz	168,68
				Especies de distribución restringida en Colombia	DiR	168,68
				Especies bioconstructoras	Bic	128,05
			Abanico submarino	A_b_Bl_C	492,42	
	C_a_Bl_A	244,94				
Canal	C_b_Bl_B	1630,94				
	C_z_Bl_A	28,18				
	Ca_a_Bl_C	114,72				
Cañón	Ca_b_Bl_B	184,73				
	Ca_b_Bl_C	660,71				
Delta	De_a	367,5				
	De_b	330,08				
	F_a_Bl_A	586,12				
	F_a_Bl_B	506,82				
	F_a_Bl_C	62,29				
Falda	F_b_Bl_B	2422,63				
	F_b_Bl_C	21,16				
	F_z_Bl_C	4,95				
Llanura abisal con ondulaciones	LAO_a_Bl_A	38,61				
	LAO_b_Bl_C	1262,77				
	LAO_z_Bl_A	8,78				
Llanura abisal	LA_b_Bl_C	844,88				
	Ca_d_Bl_A	538,26				
	Ca_c_Bl_B	9505,14				
	Ca_c_Bl_C	89				

# ASB	Área (ha)	# OdC presentes	OdC presentes	Codificación	Área total de OdC (ha)	
6	59574,43	8		Co_d_Bl_A	4073,84	
				Co_c_Bl_A	424,12	
			Colina - colina alargada	Co_c_Dr_A	49077,31	
				Co_c_Dr_B	703,02	
				Cn_d_Bl_A	53,36	
				Cn_d_Bl_B	38,7	
				Cn_c_Bl_A	1737,3	
				D_c_Bl_A	25,21	
				D_c_Bl_C	31,08	
			Falda	F_c_Bl_B	41,09	
			Hoyo - hundimiento	H_c_Dr_C	297,99	
			Llanura abisal con ondulaciones	LAO_d_Bl_C	110,4	
				LAO_c_Bl_B	132,21	
				LA_d_Bl_C	111,17	
				LA_c_Bl_C	207,08	
				Especies de corales de profundidad	CoP	612,6
				Especies de ambientes reductores	AmR	5462,32
				Especies susceptibles a explotación	SuE	226,38
				Especies amenazadas	Amz	436,02
				Especies de distribución restringida en Colombia	DiR	44,08
				Especies bioconstructoras	Bic	21,48
				Ca_b	23,41	
				Ca_a	36,19	
				Ca_a_Bl_A	41,84	
				Ca_a_Bl_B	123,48	
				Ca_b_Bl_B	5283,93	
				Ca_c_Bl_C	234,38	
				Ca_z_Bl_A	9,69	
			Colina - colina alargada	Co_b_Bl_B	1305,83	
				Co_b_Bl_C	42,79	
				Cn_a_Bl_B	391,94	
				Cn_b_Bl_B	375,36	
Delta	De_a	1025,29				
	De_b	39,52				
	E_a_Bl_A	966,91				
Escarpe	E_b_Bl_A	259,57				
	E_z_Bl_A	269,57				
Espolón	Ep_b	289,14				
	F_b	208,69				
	F_a_Bl_A	454,26				
	F_a_Bl_C	179,81				
Falda	F_b_Bl_B	2474,34				
	F_b_Bl_C	1013,44				
	F_b_Dr_A	29,74				
	F_z_Bl_A	30,54				
Hoyo - hundimiento	H_b_Bl_C	264,03				
Llanura abisal con ondulaciones	LAO_a_Bl_B	15,72				
	LAO_b_Bl_C	2860,64				
	LA_a_Bl_B	223,45				
	LA_b_Bl_B	1141,16				
Llanura abisal	LA_b_Bl_C	1385,15				
	LA_c_Bl_C	5,1				
	M_b_Bl_C	924,7				
Meseta	M_c_Bl_C	73,56				
Plataforma continental	PC_a_Bl_C	0,02				
	PC_z_Bl_C	173,26				

Continuación de Tabla 7.

# ASB	Área (ha)	# OdC presentes	OdC presentes	Codificación	Área total de OdC (ha)	
8	32479,93	7		Ca_d_Bl_A	381,81	
				Ca_c_Bl_B	789,1	
			Cañón	Ca_c_Bl_C	1387,2	
				Co_d_Bl_A	3650,7	
				Co_c_Bl_A	302,56	
				Co_c_Bl_B	180,09	
				Co_c_Dr_A	26267,61	
				DA_c_Bl_B	41,87	
				D_c_Bl_A	83,44	
				F_d	206,53	
				F_c	273,54	
				F_c_Bl_B	84,69	
				H_c_Bl_A	12,91	
			Hoyo - hundimiento	H_c_Dr_A	168,47	
			Llanura abisal con ondulaciones	LAO_d_Bl_C	162,67	
			Llanura abisal	LA_c_Bl_C	866,9	
				Colina - colina alargada	CAL_d_Bl_A	731,51
				Co_d_Bl_A	34,96	
			Falda	F_d	192,22	
			Llanura abisal con ondulaciones	LAO_d_Bl_C	532,35	
			Meseta	M_d_Bl_C	64,76	
				Especies de corales de profundidad	CoP	390,5
				Especies amenazadas	Amz	26,87
				Especies de ambientes reductores	AmR	8834,67
			Cañón	Ca_b	1641,15	
				Ca_a	1610,22	
			Colinas y lomas	CL_a	1695,59	
				CL_b	1807,58	
				De_a	2880,93	
			Delta	De_b	11548,69	
				F_b	6734,92	
			Falda	F_c	50,66	
	PC_a	67,46				
Plataforma continental	PC_a	1054,43				
Colinas y lomas	CL_c	4539,5				
Especies amenazadas	Amz	14,43				
Delta	De_a	163,28				
	De_b	117,91				
Espolón	Ep_a	720,09				
	Ep_b	429,31				
	Especies amenazadas	Amz	150,68			
	Especies de ambientes reductores	AmR	672,38			
Colinas y lomas	CL_a	858,82				
	CL_b	855,08				
	De_a	198,39				
Delta	De_b	617,83				
Falda	F_b	64,31				
	C_d_Bl_A	6095,19				
	C_d_Bl_B	184,43				
	C_d_Bl_C	249,51				
	C_b_Bl_B	40,75				
Canal	C_b_Dr_B	11,85				
	C_c_Bl_A	7666,63				
	C_c_Bl_B	2196,78				
	C_c_Dr_A	9421,33				
	C_c_Dr_B	4595,36				

# ASB	Área (ha)	# OdC presentes	OdC presentes	Codificación	Área total de OdC (ha)	
14	81588,87	8		Colina - colina alargada	Co_d_Bl_B	62,05
					Co_c_Bl_B	3487,13
					F_d	2,46
					F_b	422,23
					F_c	1720,37
				Falda	F_d_Bl_B	0,43
					F_b_Bl_B	201,86
					F_b_Bl_C	81,92
					F_c_Bl_B	4857,59
					F_c_Dr_B	2570,13
				Hoyo - hundimiento	Hu_d_Bl_B	182,17
					Hu_c_Bl_B	8,93
					Le_d_Bl_B	3473,59
					Le_d_Dr_B	16,77
					Le_b_Bl_C	121,09
				Levee - bordo	Le_b_Dr_B	279,46
					Le_c_Bl_B	9829,73
					Le_c_Bl_C	347,7
					Le_c_Dr_A	9968,52
				Loma - loma aislada	LoA_d_Bl_B	713,75
					LoA_c_Bl_B	2672,81
					T_d_Bl_B	44,49
				Terraza	T_d_Bl_C	546,15
					T_c_Dr_B	355,24
					ZF_d_Bl_C	281,9
					ZF_d_Dr_B	1,04
				Zona de flujo	ZF_b_Bl_A	68,53
					ZF_b_Bl_B	85,42
					ZF_c_Dr_A	8723
					C_d_Bl_C	808,33
				Canal	C_c_Bl_A	1089,61
					C_c_Bl_B	794,89
		F_d_Bl_B	37,58			
	Falda	F_d_Dr_B	1,07			
		F_c_Dr_B	1001,12			
	Loma - loma aislada	LoA_d_Bl_B	1005,72			
		LoA_c_Bl_B	255,77			
		Especies de ambientes reductores	AmR	9,83		
		Especies susceptibles a explotación	SuE	9,83		
		Especies amenazadas	Amz	114,71		
		Especies de distribución restringida en Colombia	DiR	109,4		
	Abanico submarino	A_e	176,97			
		C_d_Bl_B	8015,33			
		C_b_Bl_A	313,73			
		C_b_Bl_B	2148,79			
		C_b_Bl_C	73,23			
	Canal	C_b_Dr_A	1,59			
		C_b_Dr_B	0,04			
		C_c_Bl_B	5784,37			
		C_c_Dr_B	14096,99			
		C_e_Bl_B	96,89			

Continuación de Tabla 7.

# ASB	Área (ha)	# OdC presentes	OdC presentes	Codificación	Área total de OdC (ha)	
16	153822,72	16	Cañón	Ca_d	500,35	
				Ca_b	802,58	
				Ca_a	319,44	
				Co_a_Bl_C	198,34	
				Co_d_Bl_A	113,25	
				Co_d_Bl_B	237,58	
			Colina - colina alargada	Co_d_Dr_A	23033,96	
				Co_d_Dr_B	25,41	
				Co_b_Bl_B	19292,07	
				Co_c_Bl_A	3019,61	
				Co_c_Bl_B	8132,59	
				Co_c_Dr_B	17479,32	
				Co_e_Bl_B	228,96	
				Co_e_Dr_A	707,3	
				De_a	1049,61	
				De_b	970,3	
				Escarpe	E_d	211,74
				F_d	759,39	
			F_b	945,23		
			F_c	121,17		
			F_b_Bl_B	2858,96		
			Falda	F_b_Bl_C	0,49	
				F_c_Bl_A	38,31	
				F_c_Bl_B	4136,1	
				F_c_Dr_A	7491,53	
				F_c_Dr_B	19,27	
				Le_d_Bl_B	4357,59	
			Levee - bordo	Le_b_Bl_B	38,8	
				Le_b_Dr_B	404,08	
				Le_c_Bl_A	180,97	
				Le_c_Bl_B	885,33	
				Le_c_Dr_A	562,31	
				Le_c_Dr_B	290,28	
			Llanura abisal	LA_d_Bl_C	515,23	
				LA_e_Bl_B	48,38	
			Movimiento en masa	MM_c_Bl_B	1113,91	
				T_c_Bl_B	2619,46	
			Terraza	T_c_Dr_B	801,41	
				ZF_d_Bl_C	22,86	
				ZF_d_Dr_B	68,2	
				ZF_b_Bl_A	1228,62	
				ZF_b_Bl_B	561,92	
				ZF_b_Bl_C	333,8	
			Zona de flujo	ZF_b_Dr_B	12,44	
				ZF_c_Bl_C	1496,51	
ZF_c_Dr_A	14550,56					
ZF_c_Dr_B	4,75					
Canal	C_c_Bl_B	374,99				
Co_d_Bl_A	4021,81					
Colina - colina alargada	Co_d_Bl_B	940,07				
	Co_d_Dr_B	1,49				
	Co_c_Bl_B	1429,04				
	Co_c_Dr_C	430,01				
	D_d_Dr_B	16,56				
	D_c_Bl_A	622,85				
Domo	D_c_Bl_B	205				
	D_c_Dr_B	136,16				
	Escarpe	E_d	0,14			
Falda	F_c_Bl_B	663,2				
	LA_d_Bl_B	4235,13				
Llanura abisal	LA_c_Bl_B	5237,06				
	LA_c_Bl_C	2061,87				

# ASB	Área (ha)	# OdC presentes	OdC presentes	Codificación	Área total de OdC (ha)	
17	67101,06	8	Monte submarino	MS_d_Bl_B	1789,12	
				MS_c_Bl_B	132,75	
				MS_c_Dr_B	39840,4	
				MM_d_Bl_B	104,77	
				MM_d_Bl_C	2315,27	
			Movimiento en masa	MM_c_Bl_B	764,63	
				MM_c_Dr_A	1778,49	
				C_b_Bl_B	1745,1	
				C_b_Bl_C	964,25	
				C_c_Bl_B	129,85	
18	11615,31	6	Canal	De_a	117,73	
				De_b	195,23	
				D_b_Bl_B	1,04	
			Delta	D_b_Dr_B	25,9	
				D_c_Bl_B	2,9	
				F_b_Bl_B	3876,86	
			Falda	F_b_Dr_B	273,72	
				F_c_Bl_B	34,86	
				Lo_b_Bl_B	3904,71	
			Loma - loma aislada	Lo_c_Bl_B	230,25	
				Movimiento en masa	MM_b_Bl_B	113,17
				Especies amenazadas	Amz	43,45
Especies de distribución restringida en Colombia	DiR	35,27				
	C_a_Bl_B	131,15				
	C_b_Bl_C	70,13				
19	5321,27	7	Canal	C_b_Dr_A	911,75	
				C_b_Dr_B	0,12	
				C_c_Bl_B	68,22	
			Delta	De_a	898,27	
				De_b	1,12	
				D_b_Bl_B	210,03	
			Domo	D_c_Bl_B	1,8	
				F_a_Bl_B	404,93	
				F_b_Bl_B	2513,66	
			Falda	F_c_Bl_B	5,22	
				MM_a_Bl_C	22,48	
				MM_b_Bl_B	79,82	
Canal	C_b_Bl_B	967,3				
C_c_Bl_C	49					
Delta	De_b	102,75				
Domo	D_b_Bl_B	14,38				
	Escarpe	E_b	15,49			
	F_b_Bl_B	2703,01				
	F_c_Bl_B	33,93				
	F_c_Dr_B	8,14				
	C_b_Bl_B	815,61				
20	3894	5	Canal	C_b_Dr_B	1139,39	
				C_c_Bl_B	25,09	
				D_b_Bl_B	23,42	
			Domo	D_b_Dr_B	19,59	
				Escarpe	E_b	80,58
				F_b_Bl_B	5744,51	
			Falda	F_c_Bl_B	7,62	
				F_c_Dr_B	0,79	
				H_b_Dr_B	256	

Continuación de Tabla 7.

# ASB	Área (ha)	# OdC presentes	OdC presentes	Codificación	Área total de OdC (ha)	
22	10190,23	7	Especies susceptibles a explotación	SuE	17,04	
				Especies amenazadas	Amz	17,04
			Canal	C_a_Bl_B	147,36	
				C_b_Bl_B	2056,46	
				C_c_Bl_B	69,12	
				Ca_a	2,3	
			Escarpe	E_a	738,02	
				E_b	18,04	
			Falda	F_a_Bl_A	64,59	
				F_a_Bl_B	969,65	
				F_a_Bl_C	77,53	
				F_b_Bl_B	4414,52	
F_b_Dr_B	664,07					
F_c_Bl_B	91,14					
Hoyo - hundimiento	F_c_Dr_B	3,89				
	Hu_a_Bl_B	95,8				
	Hu_b_Dr_B	765,81				
	Canal	C_c_Bl_B	133,8			
23	3050,3	4	Domo	D_c_Dr_A	1616,47	
				LA_c_Bl_C	336,97	
			Llanura abisal	MS_c_Bl_B	963,14	
			Monte submarino	Especies de corales de profundidad	CoP	504,31
				Especies susceptibles a explotación	SuE	178,67
				Especies amenazadas	Amz	286,71
Especies de distribución restringida en Colombia	DiR	22,02				
24	68934,13	16	Canal	Bic	56,92	
				Delta	CD_c_Bl_B	27,18
				Campo de domos	C_b_Bl_B	1152,96
			Canal	C_b_Dr_C	109,45	
				C_c_Bl_B	644,85	
				Ca_b	184,59	
				CA_c	1485,7	
				Ca_d_Bl_A	4429,86	
				Ca_d_Dr_B	0,01	
			Cañón	Ca_b_Bl_B	686,43	
				Ca_c_Bl_B	61,59	
				Ca_c_Bl_C	127,69	
Ca_c_Dr_A	7779,64					
Ca_e_Bl_B	533,13					
Colinas y lomas	CL_c	79,25				
Delta	De_c	175,51				
	Domo	D_c_Dr_A	273,19			
	E_a	246,88				
	E_b	541,28				
	E_c	695,55				
	Escarpe	E_a_Bl_B	3282,35			
E_b_Bl_B		3810,55				
E_c_Dr_C		15,92				
E_z_Dr_B		282,78				
Espolón		Ep_c	19,5			
Falda		F_b_Bl_B	995,56			
	F_c_Bl_B	0,04				
	F_c_Dr_B	217,97				

# ASB	Área (ha)	# OdC presentes	OdC presentes	Codificación	Área total de OdC (ha)			
24	68934,13	16	Hoyo - hundimiento	Hu_d_Bl_A	4263,42			
				Hu_d_Bl_B	474,48			
				Hu_c_Bl_B	1145,81			
				Hu_e_Bl_B	222,63			
				MS_a_Bl_B	93,02			
				MS_d_Bl_B	2666,87			
			Monte submarino	MS_b_Bl_A	156,54			
				MS_b_Bl_B	21123,5			
				MS_c_Bl_B	10589,11			
				MS_e_Bl_A	293,34			
25	5841,9	3	Colinas y lomas	CL_d	4865,29			
				Escarpe	E_d	231,93		
			Monte submarino	MS_d_Bl_B	744,7			
				Especies amenazadas	Amz	20,66		
			Delta	De_b	194,76			
				Especies de corales de profundidad	CoP	804,85		
			27	2467,34	6	Especies de interés en bioprospección	Bip	4,61
							Especies susceptibles a explotación	SuE
						Especies amenazadas	Amz	55,83
							Especies bioconstrutoras	Bic
						Delta	De_a	2101,19
							Especies amenazadas	Amz
28	454,51	3	Especies de distribución restringida en Colombia	DiR	16,65			
				Delta	De_b	454,51		
			Especies de corales de profundidad	CoP	2200,35			
29	4935,41	6	Especies susceptibles a explotación	SuE	116,47			
				Especies amenazadas	Amz	113,91		
				Especies de distribución restringida en Colombia	DiR	109,27		
			Especies bioconstrutoras	Bic	20,87			
				Delta	De_a	3754,96		
				De_b	452,3			
			30	36241,78	3	Cañón	Ca_d	7441,24
							Ca_b	3215,32
							Ca_c	6871,2
						Cuenca	Ca_a	2004,92
							Cc_d	2802,15
							E_a	626,31
31	11687,4	3	Escarpe	E_d	4980,73			
				E_b	1405,86			
				E_c	6613,43			
			Cañón	Ca_d	6042,86			
				Cu_d	2132			
				Escarpe	E_d	3215,01		
32	389,7	3	Especies susceptibles a explotación	SuE	31,2			
				Especies amenazadas	Amz	31,2		
			Escarpe	E_c	389,7			

Continuación de Tabla 7.

# ASB	Área (ha)	# OdC presentes	OdC presentes	Codificación	Área total de OdC (ha)
33	714,56	1	Escarpe	E_b	714,56
			Especies susceptibles a explotación	SuE	19,27
34	389,76	3	Especies de distribución restringida en Colombia	DiR	19,27
			Escarpe	E_b	389,76
			Especies de corales de profundidad	CoP	16,54
			Especies amenazadas	Amz	16,54
35	194,91	4	Especies bioconstructoras	Bic	16,54
			Plataforma continental	PC_a	90,13
			Especies susceptibles a explotación	SuE	43,42
36	909,58	3	Especies amenazadas	Amz	43,42
			Escarpe	E_a	355,85
				E_b	553,72
37	259,88	1	Escarpe	E_b	259,88
38	259,9	2	Especies amenazadas	Amz	1,9
			Escarpe	E_a	259,9
			Especies susceptibles a explotación	SuE	149,41
			Especies de distribución restringida en Colombia	DiR	149,41
			Escarpe	E_a	1634,45
				E_b	184,98
40	194,94	2	Especies amenazadas	Amz	10,53
			Escarpe	E_b	194,94
			Especies susceptibles a explotación	SuE	3,14
41	129,98	3	Especies amenazadas	Amz	3,14
			Escarpe	E_b	56,82
				E_c	73,16
			Especies de corales de profundidad	CoP	65,61
			Especies susceptibles a explotación	SuE	65,61
			Especies amenazadas	Amz	83,53
42	3964,81	6	Especies de distribución restringida en Colombia	DiR	36,07
			Especies bioconstructoras	Bic	65,61
			Escarpe	E_a	1778,16
				E_b	1999,97
				Ca_d	5318,79
				Ca_b	719,07
			Cañón	Ca_c	3560,41
				Ca_a	134,75
				E_a	579,57
43	27242,75	4	Escarpe	E_b	3394,21
				E_c	550,45
			Plataforma continental	PC_a	124,8
			Valle submarino	Vs_d	7135,45
				Vs_c	5724,63

## CONCLUSIONES, VACÍOS Y PERSPECTIVAS

Las escalas de la información fuente y la escala final de trabajo con la que son identificadas estas áreas tienen sus limitaciones, siendo necesario a medida que se obtenga información in situ especialmente sobre comunidades y especies biológicas, llevar en el corto plazo, análisis más detallados.

La presencia de especies indicadoras de ambientes reductores o quimiosintéticos (bivalvos) en el Caribe suroccidental colombiano debe fomentar procesos de investigación para caracterizarlos y en caso de ser necesario incluirlos como objetos de conservación y complementar de esta forma los portafolios de ASB.

Con el fin último de garantizar la representatividad del mayor espectro posible de biodiversidad y su preservación en el tiempo, y al hacer uso de la mejor información disponible existente a la fecha, las ASB deberán constituir una guía para la implementación de diversas estrategias de manejo y conservación, convirtiéndose en un instrumento de soporte para direccionar la planificación de futuras actividades de algunos sectores productivos en el país, tales como el tendido de cables submarinos, la extracción de recursos mineros, hidrocarburos y pesqueros (pesca de arrastre), siendo este último el de mayor preocupación dado el deterioro que este tipo de pesca ha generado en muchas regiones del mundo, donde se han cuantificado sus efectos.

A pesar de que aun no se tienen evidencias sobre la presencia de bancos o conglomerados de esponjas en el país estas comunidades se vuelven un objeto de conservación próximo a evaluar dada la importancia como organismos bioconstructores que pueden modificar su entorno a través de la acumulación de biomasa bacteriana conformando una estructura biogénica, además que desempeñan un papel fundamental en el acopla-

miento del hábitat bentopelágico en ambientes de aguas profundas.

Hoy en día muchos países están comenzando a diseñar diversas estrategias para la conservación, el manejo y uso sostenible de hábitats de aguas profundas que van desde medidas altamente restrictivas hasta lineamientos específicos para el manejo. Es importante en un corto y mediano plazo identificar y priorizar cuáles de estas ASB podrían apuntar a estrategias de conservación específicas como el Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP) al interior del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) en el cual se incluirían elementos de la biodiversidad no representados dentro de los actuales sistemas de protección o AMP del país.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives De Andrés” -Invemar por el apoyo brindado en la realización de este estudio, especialmente a los investigadores del Instituto quienes han aportado a la ciencia información valiosa pues sin cada uno de estos aportes, el conocimiento de la biodiversidad marina de profundidad y el análisis integral de la misma no estaría hoy iniciando. Muy especialmente a la Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH por los recursos otorgados para la generación de este nuevo conocimiento con miras a desarrollar una planificación estratégica sobre los ambientes de profundidad y por ende un mejor desarrollo sostenible basado en la ciencia. Al Laboratorio de Sistemas de Información del Invemar, al Museo de Historia Natural Marina de Colombia y a cada uno de los participantes del proceso que de una u otra forma proporcionaron apoyo a los diversos aspectos que comprendió esta investigación.

## REFERENCIAS

- Alonso D., C. Segura-Quintero, P. Castillo-Torres y J. Gerhartz-Muro. 2008b. Avances en el diseño de una red de áreas marinas protegidas: Estrategia de conservación para el norte del Caribe continental colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 37(1):129-156.
- Alonso D., L. Ramírez, C. Segura-Quintero, P. Castillo-Torres, J.M. Diaz y T. Walschburger. 2008a. Prioridades de conservación in situ para la biodiversidad marina y costera de la plataforma continental del Caribe y Pacífico colombiano. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras Invemar, The Nature Conservancy -TNC y Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales-UAESPNN. Santa Marta, Colombia, 20p.
- Andrade C. 2000. Circulation and variability of the Colombian Basin in the Caribbean Sea. Tesis Ph.D., University of Wales, U.K. 223p.
- Arecos J.A., J. Gerhartz, H. Alidina, R. Duttit y C. Martínez. 2003. Validación del sistema de áreas marinas protegidas (SAMP) cubano mediante el análisis de brechas en su representatividad. IDO-CNAP-Environmental Defense-WWF. Resumen informe final técnico, Centro Nacional de Áreas Protegidas, La Habana. 25p.
- Ball I. y H.P. Possingham. 2000. Marxan (v1.8.2): Marine Reserve Design using Spatially Explicit Annealing, a Manual. Queensland, Australia. 70p.
- Beck M. y M. Odaya. 2001. Ecoregional planning in marine environments: identifying priority sites for conservation in the northern Gulf of Mexico. *Aquatic conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 11:235-242.
- Brooks G. 2002. *Bugula neritina*. Recuperado el 15 de agosto de 2009, del sitio Web de California Academy of Sciences: [http://www.serc.si.edu/labs/benthic\\_ecology/](http://www.serc.si.edu/labs/benthic_ecology/)
- Brooks J.M., C. Fisher, H. Roberts, B. Bernard, I. McDonald, R. Carney, S. Joye, E. Cordes, G. Wolff y E. Goehring. 2008. Investigations of chemosynthetic communities on the lower continental slope of the Gulf of Mexico: Interim Report 1. U.S. Department of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region. New Orleans, Louisiana. OCS Study MMS, 2008-009. 332p.
- Bruck T.B., W.M. Bruck, L.Z. Santiago-Vázquez, P.J. McCarthy y R.G. Kerr. 2007. Diversity of the bacterial communities associated with the azooanthelete deep water octocorals *Lepetogorgia minimata*, *Icilogorgia scammii*, and *Swiftia exertia*. *Marine Biotechnology*, 9:561-576.

- Butler A.J., J.A. Koslow, P.V.R. Snelgrove y S.K. Juniper. 2001. A review of the biodiversity of the Deep Sea. Environmental Australia, Canberra. Recuperado el 15 de Diciembre de 2006, del sitio web de Department of the Environment, Water, Heritage and The Arts, Australian Government: <http://www.ea.gov.au/marine>
- CDB. 2008. Convention on Biological Diversity, Synthesis and review of the best available scientific studies on priority areas for biodiversity conservation in marine areas beyond the limits of national jurisdiction. UNEP/CBD/SBSTTA/13/INF/11. 52 p.
- Davies A.J., J.M. Roberts y J. Hall-Spencer. 2007. Preserving deep-sea natural heritage: emerging issues in offshore conservation and management. *Biological Conservation*, 138:299-312.
- Day J. y J. Roff. 2000. Planning for representative marine protected areas. A framework for Canada's Oceans. Report prepared for World Wildlife Fund (WWF), Toronto. 148p.
- De Ferranti J. 2009. Designations: Their Codes and Definitions. Recuperado el 15 de Mayo de 2010, de <http://www.viewfinderpanoramas.org/GNIS/DESIG.HTM#F>
- DeBliu J., M. Beck, D. Dorfman y P. Ertel. 2005. Conservation in the Carolinian Ecoregion: An ecoregional assessment. The Nature Conservancy, Arlington. 60p.
- Flórez P., E. Montoya-Cadavid, J.O. Reyes y N.K. Santodomingo. 2007. *Briozoos cheilostomados* del Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 36:229-250.
- Fredericksen R., A. Jensen y H. Westerberg. 1992. The distribution of the scleractinian coral *Lophelia pertusa* around the Faroe Island and the relations to internal tidal mixing. *Sarsia*, 77:157-171.
- Gage J.D. 1996. Why are there so many species in deep-sea sediments? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 200:257-286.
- Garzón S.P., A.D. Rodríguez, J.A. Sánchez y E. Ortega-Barría. 2005. Sesquiterpenoid metabolites with antiplasmodial activity from a Caribbean gorgonian coral, *Eunicea sp.* *Journal of Natural Products*, 68: 1354-1359.
- Gracia M.A., N. Rangel-Buitrago y J. Sellanes. 2009. Algunas evidencias de ambientes reductores en el margen continental del Caribe colombiano. 1036. Memorias XIII Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar COLACMAR. CD-ROM. La Habana, Cuba. 2443p.
- Grassle J.F. y N.J. Maciolek. 1992. Deep-sea species richness: regional and local diversity estimates from quantitative bottom samples. *American Naturalist*, 139:313-341.
- Groves C.B., L. Valutis, D. Vosick, B. Neely, K. Wheaton, J. Touval y B. Runnels. 2000. Diseño de una geografía de la esperanza: manual para la planificación de la conservación ecorregional. The Nature Conservancy, Vol. I y II. 2a Edición. Arlington, EE.UU. 215p.
- Guevara M., M.C. Terán, F. Campos, K.E. Clark, D. Ruiz, P. Guarderas, P. Jiménez, J. Denkinger y E. Ortiz. 2004. Evaluación ecorregional del Pacífico ecuatorial: ecorregión marina Guayaquil. Informe final, Simbioe Nazca y The Nature Conservancy (TNC), Quito, Ecuador. 70p.
- Gutiérrez M., T.L. Capson, H.M. Guzmán, J. González, E. Ortega-Barría, E. Quiñoá y R. Riguera. 2005. Leptolide, A new furanocembranolide diterpene from *Leptogorgia alba*. *Journal of Natural Products*, 68:614-616.
- Gutiérrez M., T.L. Capson, H.M. Guzmán, J. González, E. Ortega-Barría, E. Quiñoá y R. Riguera. 2006. Antiplasmodial metabolites isolated from the marine octocoral *Muricea austere*. *Journal of Natural Products*, 69:1379-1383.
- Harris P.T. y T. Whiteway. 2009. High seas marine protected areas: Benthic environmental conservation priorities from a GIS analysis of global ocean biophysical data. *Ocean & Coastal Management*, 52:22-38.
- Invemar-ANH. 2008. Especies, ensamblajes y paisajes de los bloques marinos sujetos a exploración de hidrocarburos. Editores. Informe técnico final, Santa Marta, 461p + Anexos, <http://cinto.invemar.org.co/anh/logros.htm>
- Invemar-ANH. 2010. Especies, ensamblajes y paisajes de los bloques marinos sujetos a exploración de hidrocarburos Fase II: Identificación de áreas significativas para La biodiversidad y lineamientos de manejo de manejo. Informe técnico final, Santa Marta, 259p + anexos.
- Jenness J. 2010. Surface Area and Ratio Manual. Jenness Enterprises. Recuperado el 20 de Abril de 2010, del sitio Web de Jenness Enterprises: [http://www.jennessent.com/arcgis/surface\\_area.htm](http://www.jennessent.com/arcgis/surface_area.htm)
- Korn H., S. Friedrich y U. Feit. 2003. Deep-sea genetic resources in the context of the Convention on Biological Diversity and the United Nations Convention on the Law of the Sea. Bundesamt für Naturschutz, Bonn. 84p.
- Koslow J.A. 1997. Seamounts and the ecology of deep-sea fisheries. *American Scientist*, 85(2):168-176.
- Koslow J.A., G.W. Boehlert, J.D.M. Gordon, R.L. Haedrich, P. Lorance y N. Parin. 2000. Continental slope and deep-sea fisheries: implications for a fragile ecosystem. *ICES Journal of Marine Science*, 57:548-557.
- Lattig P. 2000. Porifera, Cnidaria y Annelida de la Franja Superior del Talud Continental (300-500 m) del Caribe colombiano. Tesis Biología Universidad Javeriana, Bogotá. 192 p.
- Leslie H., M. Ruckelshaus, I. Ball, S. Andelman y H. Possingham. 2003. Using sitting algorithms in the design of marine reserve networks. *Ecological Applications*, 13(1):185-198.
- López de la Rosa. 1996. Crustáceos decápodos capturados durante las campañas del IEO ARSA 0393 y ARSA 1093 en el golfo de Cádiz: distribución batimétrica. X Simposio Ibérico de Estudios del Bentos Marino, Alcalá de Henares, Madrid. Publicaciones Especiales, Instituto Español de Oceanografía 23:199-206.
- Lundblad E., D.J. Wright, J. Miller, E.M. Larkin, R. Rinehart, T. Battista, S.M. Anderson, D.F. Naar, y B.T. Donahue. 2006. A benthic terrain classification scheme for American Samoa, *Marine Geodesy*, 29(2): 89-111.
- Mayr J. 2002. Presentación. 11-12. En: Libro rojo de peces marinos de Colombia. Mejía, L. y A. Acero (Eds.). 2002. Instituto de Investigaciones marinas y costeras Invemar, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia y Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia. 174p.
- McDonnell M.D., H.P. Possingham, I.R. Ball y E.A. Cousins. 2002. Mathematical methods for spatially cohesive reserve design. *Environmental Modeling and Assessment*, 7(2):107-114.
- Miall A.D. 1978. Tectonic setting and syndepositional deformation of molasse and other nonmarine-paralic sedimentary basins. *Canadian Journal of Earth Science*, 15:1613-1632.
- Morgan L., S. Maxwell, F. Tsao, T.A.C. Wilkinson y P. Etnoyer. 2005. Marine priority conservation areas. Baja California to the Bering Sea. Commission for Environmental Cooperation of North America (CEC) and the Marine Conservation Biology Institute (MCBI), Montreal. 123p.
- Mortensen P.B., M. Hovland, T. Brattegard y R. Farestveit. 1995. Deep water bioherms of the scleractinian coral *Lophelia pertusa* (L.) at 64°N on the Norwegian shelf: structure and associated megafauna. *Sarsia*, 80:145-158.
- OHI. 2001. Organización Hidrográfica Internacional. Normalización de los nombres de las formas del relieve submarino: directrices formulario de propuesta terminología. Bureau Hidrográfico Internacional, versión inglesa/española, 3a ed., Publicación batimétrica No. 6, Mónaco. 42p.
- Ospina C.A., A.D. Rodríguez, J.A. Sánchez, E. Ortega-Barría, T.L. Capson y A.M.S. Mayer. 2005. *Caucanolides A-F*, unusual antiplasmodial constituents from a Colombian collection of the Gorgonian coral *Pseudopterogorgia bipinnata*. *Journal of Natural Products*, 68:1519-1526.
- Possingham H.P., I.R. Ball y S. Andelman. 2000. Mathematical Methods for Identifying Representative Reserve Networks. 291-305. En: Ferson, S. y M. Burgman (Eds.). Quantitative methods for conservation biology. Springer Verlag, New York. 653p.
- Raven J., K. Caldeira, H. Elderfield, O. Hoegh-Guldberg, P. Liss, U. Riebesell, J. Shepherd, C. Turley y A. Watson. 2005. Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide. *The Royal Society*, 12, 68p.
- Reyes J.O. y N.K. Santodomingo. 2002. Manual de identificación CITES de Invertebrados marinos de Colombia. Invemar Serie de documentos generales, 8, 100p.
- Reyes J.O., N. Santodomingo, M.A. Gracia, G.H. Borrero-Pérez, G.R. Navas, L.M. Mejía-Ladino, A. Bermúdez y M. Benavides. 2005. Southern Caribbean azooxanthellate coral communities off Colombia. 309-330. En: Freiwald A. y J.M. Roberts (eds.). *Coldwater Corals and Ecosystems*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg. 1243p.
- Reyes J.O., N.K. Santodomingo y S.D. Cairns. 2009. *Caryophylliidae (Scleractinia)* from the Colombian Caribbean. *Zootaxa*, 2262:1-39.
- Roberts C.M. 2002. Deep impact: the rising toll of fishing in the deep sea. *Trends in Ecology & Evolution*, 17:242-245.
- Rodríguez I., Y.P. Shi, O.J. Garcia, A.D. Rodríguez, A.M.S. Mayer, J.A. Sánchez, E. Ortega-Barría y J. Gonzáles. 2004. New Pseudopteroin and seco-Pseudopteroin diterpene glycosides from two Colombian isolates of *Pseudopterogorgia elisabethae* and their diverse biological activities. *Journal of Natural Products*, 67(10):1672-1680.
- Sabine C.L., R.A. Feely, N. Gruber, R.M. Key, K. Lee, J.L. Bullister, R. Wanninkhof, C.S. Wong, D.W.R. Wallace, B. Tilbrook, F.J. Millero, T.H. Peng, A.Kozyr, T. Ono y A.F. Rios. 2004. The oceanic sink for anthropogenic CO<sub>2</sub>. *Science*, 305:367-371.
- Sala S., O. Aburto-Oropeza, G. Paredes, I. Parra, J.C. Barrera, y P.K. Dayton. 2002. General model for designing networks of marine reserves. *Science*, 298:1991-1993.
- Santodomingo N.K., J.O. Reyes, M.A. Gracia, A. Martínez, G. Ojeda y C. García. 2007. Azooxanthellate *Madracis* coral communities off San Bernardo and Rosario Islands (Colombian Caribbean). *Bulletin of Marine Science*, 82(3):273-287.
- Shi Y.P., A.D. Rodríguez, C.L. Barnes, J.A. Sánchez, R.G. Raptis y P. Baran. 2002. New Terpenoid Constituents from *Eunicea pinta*. *Journal of Natural Products*, 65(9):1232-1241.
- Stewart R.R. y H.P. Possingham. 2002. A framework for systematic marine reserve design south Australia: A case study. 132-143. En: Beumer, J. P., A. Grant, y D. C. Smith (Eds.). Proceedings of the world congress on aquatic protected areas - what works best and how do we know?. Australian Society for Fish Biology, Brisbane, Australia.

- Stewart R.R., T. Noyce y H.P. Possingham. 2003. Opportunity cost of ad hoc marine reserve design decisions: An example from South Australia. *Marine Ecology Progress Series*, 253: 25-38.
- Turley C., J.M. Roberts y J. Guinotte. 2007. Corals in deep water: Will the unseen hand of ocean acidification destroy cold water ecosystems? *Coral Reefs*, 26:445-448.
- Ulloa R., J. Torre, L. Bourillón, N. Alcántar y A. Gordon. 2006. Planeación ecorregional para la conservación marina: Golfo de California y costa occidental de Baja California Sur. Informe Final a The Nature Conservancy (TNC). Comunidad y biodiversidad, A.C. Guaymas, México. 153p.
- UNEP-CDB. 2004. Decision VII/28 Protected areas, adopted by the conference of the parties to the Convention on Biological Diversity at its seventh meeting. Kuala Lumpur. 24p.
- Wei X., A.D. Rodríguez, P. Bran, R.G. Raptis, J.A. Sánchez, E. Ortega-Barría y J. Gonzáles. 2004. *Antiplasmoidal cembradiene diterpenoids* from a Southwestern Caribbean gorgonian octocoral of the genus *Eunicea*. *Tetrahedron*, 60:11813-11819.
- Wright D.J., E.R. Lundblad, E.M. Larkin, R.W. Rinehart, J. Murphy, L. Cary-Kothera y K. Draganov. 2005. Benthic Terrain Modeler -BTM extension for ArcGIS 8.x/9.x, (version 1.0). Corvallis, Oregon, USA. Department of Geosciences - Oregon State University, Davey Jones Locker Seafloor Mapping/ Marine GIS Laboratory y NOAA Coastal Services Center. Recuperado en 2008 del sitio Web: <http://www.csc.noaa.gov/products/btm/>
- Zacharias M.A. y J.C. Roff. 2001. Use of focal species in marine conservation and management: a review and critique. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 11: 59-76.
- Zonnoveld I.S. 1995. Land ecology: An introduction in landscape ecology as a base for land evaluation, land management and conservation. SPV Academic publishing, Amsterdam. 198p.

## ANEXOS

### Anexo 1. Descripción de objetos de conservación (OdC) de filtro grueso (paisajes).

#	OdC	Descripción (*)
1	Abanico submarino (A)	Cuerpo de origen sedimentario con forma de abanico de contornos relativamente suaves y extendido en declive a partir de la desembocadura de una zona de flujo (canal, cañón submarino o sistema de cañones submarinos).
2	Campo de domos (CD)	Área caracterizada por la presencia de varios domos que da pie a una morfología ondulada que se extiende por centenas de metros o kilómetros.
3	Canal (C)	Depresión alargada de pendiente continua, frecuente en zonas de abanicos, planicies y zonas de flujo; generalmente flanqueada por bordes en ambos o en uno de sus lados.
4	Cañón (Ca)	Depresión profunda, relativamente angosta y de paredes abruptas, cuyo fondo generalmente se hace más profundo de forma continua. Es característica de algunos taludes continentales.
5	Colina (Co) - colina alargada (CAL)	Elevación de menos de 1000 m. Se denomina alargada cuando presenta a lo largo o ancho una mayor extensión.
6	Colinas y lomas (CL)	Grupo de elevaciones aisladas, menores a 1000 m.
7	Cono (Cn)	Cuerpo de origen sedimentario similar a un abanico, de contornos relativamente suaves, extendido en declive a partir de la desembocadura de una zona de flujo (canal, cañón, entro otros). Se diferencia de la geoforma abanico por no presentar esta forma.
8	Cuenca (Cc)	Una depresión, en el fondo marino, de extensión variable, más o menos equidimensional en planta.
9	Delta (De)	Zona plana formada por depósitos aluviales en la desembocadura de una corriente.
10	Domo (D)	Protuberancia suavemente redondeada en laderas o llanuras. En el Caribe colombiano está asociada al diapirismo de lodos.
11	Escarpe (E)	Pendiente submarina, característicamente lineal, muy abrupta y alargada, que divide zonas llanas o suavemente pendientes del fondo marino en zonas que no son plataforma.
12	Espolón (Ep)	Elevación subordinada en una cresta o aumento de la proyección exterior de un rasgo más grande o sobresaliente.
13	Falda (F)	Suave pendiente que asciende desde las profundidades oceánicas hasta la base del talud continental.
14	Hoyo (H) - hundimiento (Hu)	Pequeña depresión local que a menudo es escarpada en los lados.
15	Levee - bordo (Le)	Pequeña elevación situada en terrenos bajos aledaños y paralelos a zonas de canales y cañones.
16	Llanura abisal (LA)	Zona abisal llana, extensa, subhorizontal o de escasa pendiente.
17	Llanura abisal con ondulaciones (LAO)	Zonas planas ligeramente onduladas limitadas por zonas altas o elevadas.
18	Loma (Lo)- loma aislada (LoA)	Elevación algo menor que un monte submarino y de forma redondeada, puede presentarse aislada o como un grupo en el fondo marino.
19	Meseta (M)	Zona llana o casi llana de extensión considerable, con una brusca ruptura de pendiente por uno o más lados.

Continuación de Anexo 1.

#	OdC	Descripción (*)
20	Monte submarino (MS)	Elevación o grupo de elevaciones anchas aisladas, mayores de 1000 m en relieve por encima del fondo marino, característicamente de forma cónica.
21	Movimiento en masa (MM)	Flujo que se desplaza bruscamente por zonas de alta pendiente, arrastrando gran cantidad de material rocoso, el principal agente es la gravedad. Estos procesos pueden variar desde un pequeño flujo superficial hasta una gigantesca masa que puede alcanzar grandes dimensiones.
22	Plataforma continental (PC)	Zona adyacente a un continente (o rodeando una isla) que se extiende desde la línea de bajamar hasta una profundidad en la que generalmente hay un incremento marcado de las pendientes hacia las profundidades oceánicas.
23	Terraza (T)	Zona relativamente plana, horizontal o ligeramente inclinada, a veces larga y angosta, limitada por una pendiente ascendente en un lado y por otra pendiente descendente más marcada en el lado opuesto.
24	Valle submarino (Vs)	Depresión ancha y relativamente poco profunda cuyo fondo generalmente presenta un gradiente continuo. Por lo general este término no se utiliza en aquellos rasgos que presenten las características de un cañón a lo largo de tramos significativos de su recorrido.
25	Zona de flujo (ZF)	Flujo que se desplaza lentamente por zonas de pendiente. Estos procesos pueden variar desde un pequeño flujo superficial hasta una gigantesca masa que puede alcanzar grandes dimensiones.

(\*) OHI 2001, De Ferranti 2009.

Anexo 2. Descripción de los objetos de conservación (OdC) de filtro fino (especies).

Objeto de conservación	Importancia
------------------------	-------------

Especies de ambientes reductores



Gusanos tubícolas *Escarpia laminata*, organismos teñidos para estudiar su tasa de crecimiento (Fotografía tomada de Brooks *et al.* 2008).

Realizan quimiosíntesis, se cree que estos organismos han desempeñado un papel importante en el desarrollo de la vida marina. Esta fauna es altamente especializada, presentándose en ambientes de una relativa baja diversidad y alto endemismo, con tasas de crecimiento muy lentas (un gusano tubícola puede tener hasta 400 años de edad) y con comunidades enteras de cientos de años de edad (MMS 2000). Las especies características de este tipo de ambientes van desde bacterias quimiosintéticas hasta gusanos tubícolas, almejas gigantes y cangrejos blancos. En varias estaciones de los proyectos Macrofauna I, ANH I y II, fueron encontradas algunas especies que pertenecen a las familias que generalmente se encuentran estructurando estas comunidades (p. ejm. Vesicomidae, Lucinidae y Solemyidae) y que se caracterizan por poseer bacterias endosimbiontes quimiosintéticas; así como algunas evidencias geológicas (Gracia *et al.* 2009).

Objeto de conservación

Importancia

Especies bioconstructoras



*Cladocora debilis* Ehrenberg, 1834 (Fotografía tomada de Reyes *et al.* 2009).

La complejidad del hábitat está directamente relacionada con la riqueza de especies y algunas especies pueden modificarlo mediante la formación de estructuras biogénicas como los esqueletos coralinos. Otros organismos de acuerdo a la forma de su cuerpo y sus movimientos, pueden manipular los sedimentos y formar madrigueras o depresiones de alimentación contribuyendo a generar valiosos micro ó macro hábitats que son aprovechados por muchas especies que los utilizan como refugios ante los depredadores, para el apareamiento o cría, o como recursos alimenticios entre otros. En el Caribe colombiano se han identificado a los briozoos como bioconstructores asociados al coral azooxantelado *Cladocora debilis* y a diferentes especies de antipatarios (Flórez *et al.* 2007, Reyes *et al.* 2005).

Especies de corales de profundidad o de aguas frías



*Madracis myriaster* Milne-Edwards y Haime, 1849 (Fotografía tomada de Santodomingo *et al.* 2007).

Crece en ambientes oscuros y a diferencia de los corales someros no tienen en sus tejidos algas simbióticas que dependen de la luz para su supervivencia. Debido a esto tienen una dependencia de las corrientes de agua que transportan partículas de materia orgánica y zooplancton para su alimentación. Son alimentadores marinos suspensívoros, tienen tasas de crecimiento muy lentas y muchos de ellos producen carbonato de calcio conformando pequeñas colonias dispersas de pocos metros de diámetro hasta vastos complejos de arrecifes de varias decenas de kilómetros de diámetro, alcanzando bancos arrecifales de miles de años de antigüedad. Se tiene evidencia de tres puntos en donde existen bancos coralinos de profundidad, 1. Frente a Islas de San Bernardo y el Rosario, 2. Frente al Tayrona y 3. Frente a la Guajira (Reyes *et al.* 2005, Santodomingo *et al.* 2007).

Continuación Anexo 2.

Objeto de conservación	Importancia
------------------------	-------------

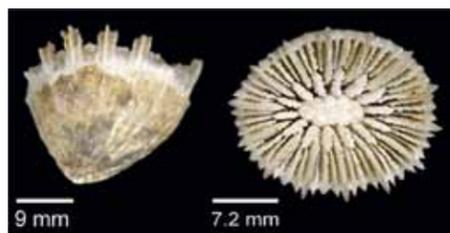
Especies de distribución restringida en Colombia



*Heterocyathus antoninae*  
(Fotografía tomada de Reyes et al. 2009).

Especies cuya distribución se restringe a una ecorregión (o a un área geográfica pequeña dentro de una ecorregión), que depende completamente de un área específica y única para su supervivencia y que, por lo tanto, es más vulnerable (Groves et al. 2000). Este es un criterio importante para la conservación de la biodiversidad dado que las especies de distribución restringida son más susceptibles a la extinción. En las expediciones Macrofauna I, II y Marcoral, en estos ambientes se tiene como especie restringida al coral *Heterocyathus antoninae* (Invemar-ANH, 2008).

Especies amenazadas



*Caryophyllia ambrosia caribbeana* Cairns 1979  
(Fotografía tomada de Lattig 2000)

La pérdida de la biodiversidad es una problemática que no solo atañe a Colombia sino al resto del mundo, paulatinamente se pierden especies silvestres y recursos genéticos. Las causas son muchas, bajo conocimiento, escasez de recursos para la protección de las especies amenazadas y las deficiencias jurídicas y administrativas para su recuperación y manejo (Mayr 2002). Todos las especies de cnidarios pertenecientes a los ordenes *Scleractinia* y *Antipatharia* están listadas en los apéndices Cites (Reyes y Santodomingo 2002).

Especies susceptibles a explotación



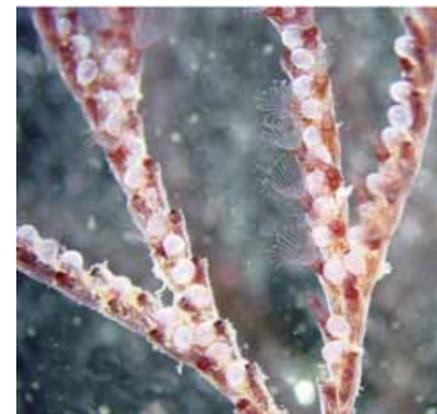
*Hoplostethus occidentalis* Woods, 1973.  
(Imagen: Adela Roa-Varón y Lina Saavedra D.)

Muchas especies de peces frecuentan a los arrecifes de aguas profundas, aunque la relación funcional entre las especies presentes en los arrecifes de coral de profundidad y la importancia de estos arrecifes como hábitat de los peces de arrecife no está bien entendida, las investigaciones en los arrecifes del Atlántico nororiental conformados por el coral *Lophelia* se han registrado 25 especies de peces de los cuales 17 fueron de importancia comercial (CBD 2008). Entre las especies de peces demersales que se han caracterizado como susceptibles de explotación se encuentran *Coryphaenoides* sp. *Dipturus bullisi*, *D. garricki* y *Hoplostethus occidentalis*, y entre los corales de profundidad se pueden mencionar los corales negros: *Antipathes atlantica*, *Antipathes furcata*, *Antipathes gracilis*, *Antipathes lenta*, *Antipathes salis*, *Aphanipathes abietina* y *Stichopathes luetkeniy*.

Continuación Anexo 2.

Objeto de conservación	Importancia
------------------------	-------------

Especies de interés en bioprospección



*Bugula neritina* Linnaeus, 1758  
(Fotografía tomada de Brooks, 2002)

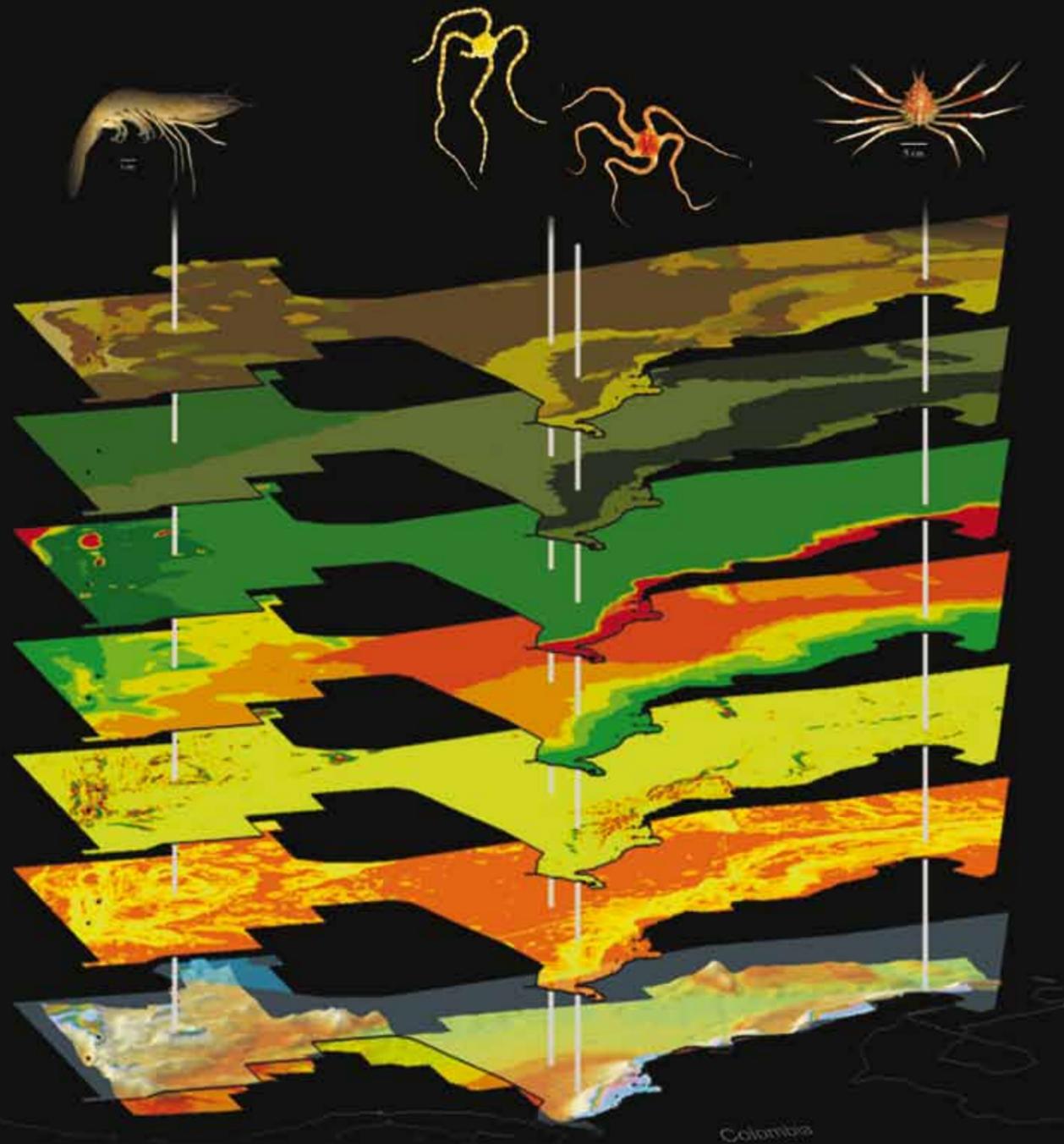
La bioprospección básicamente orienta su actividad hacia la búsqueda de sustancias químicas, genes, etc., presentes en organismos marinos que puedan ser utilizados por las industrias farmacéutica, médica, biotecnológica, cosmética, nutricional y agrícola. Estudios previos nacionales e internacionales han evidenciado que los conglomerados de Cnidarios son productoras de sustancias bioactivas (Shi et al. 2002, Rodríguez et al. 2004, Wei et al. 2004, Garzón et al. 2005, Gutiérrez et al. 2005, Ospina et al. 2005, Gutiérrez 2006, Bruck et al. 2007).

## SISTEMAS DE INFORMACIÓN: HERRAMIENTAS DE SOPORTE AL CONOCIMIENTO DE LA DIVERSIDAD MARINA DEL MARGEN CONTINENTAL

*Daniel M. Rozo-Garzón<sup>1</sup>, Martha Vides<sup>1</sup>, Jiner A. Bolaños<sup>1</sup>,  
Julio Bohórquez<sup>1</sup> y Carolina Segura-Quintero<sup>1</sup>*

1. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - Invemar, Programa de Investigación para la Gestión Marina y Costera, Cerro de Punta Betín, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: drozo@invemar.org.co / mvides@invemar.org.co / jiner\_bolanos@invemar.org.co / sinam@invemar.org.co / csegura@invemar.org.co

**Figura separador:** Integración de información marina - Caribe colombiano. Diseño: Daniel M. Rozo-Garzón y Martha Vides.



## RESUMEN

Es creciente la importancia de las herramientas de software como apoyo al conocimiento y adecuada gestión de la biodiversidad. Para el caso particular de la biodiversidad marina el presente documento reseña algunos de estos avances, especialmente los relacionados con el desarrollo e implementación de: bases de datos y sistemas de información, entendidas como herramientas no espaciales que ofrecen respuesta a preguntas relacionadas de taxonomía y sistemática; sistemas de información geográfica, resaltando las aplicaciones relacionadas con el componente espacial como modelamiento del fondo marino, distribución de especies y análisis integrado con miras a identificar áreas significativas y a generar alternativas para la toma de decisiones. Las tecnologías de información son así mismo una manera versátil de divulgar información y ofrecer servicios incluyendo portales y geovisores estructurados. Cada una de las principales posibilidades ofrecidas por las herramientas de software se ilustra mediante la aplicación de las mismas para resolver preguntas fundamentales sobre las características de la biodiversidad marina del margen continental Colombiano.

**Palabras clave:** *Sistemas de información. Diversidad marina, Caribe colombiano.*

## ABSTRACT

Biodiversity knowledge and management software tools are certainly acquiring increasing importance. This fact is especially relevant for marine biodiversity growing awareness, on which significant advances can be identified. Such advances, explored and described along this chapter, include the development and implementation of databases and information systems, offering alternative non spatial solution tools for taxonomy and systematic questions; it also reviews geographic information system tools, contributing with seabed mapping, spe-

cies distribution modeling and marine biodiversity hot spot analysis making them available, reliable and easy to use for decision making. GIS data hubs and portals are also revealed as an effective way of spreading information and offering information technology services. Applications and possibilities offered by above software tools are exemplified by means on how to solve fundamental questions related to the Colombian continental margin marine biodiversity inventory.

**Key words:** *Information sistema, Marine diversity, Colombian Caribbean.*

## INTRODUCCIÓN

Las Tecnologías de Información y Comunicación -TIC- son reguladas en Colombia por la Ley 1341 de 2009, que las define como “el conjunto de recursos, herramientas, equipos, programas informáticos, aplicaciones, redes y medios, que permiten la compilación, procesamiento, almacenamiento y transmisión de información como: voz, datos, texto, video e imágenes”.

El uso de TIC, evidenciado como un medio y no un fin en la Cumbre Mundial de la Sociedad de Información -CMSI-, ha sido reconocido como una estrategia eficaz para potenciar el desarrollo limpio y reducir la pobreza en el mundo. Para el sector científico ha sido especialmente resaltado, como base fundamental del desarrollo sostenible de las naciones, teniendo como último fin el “servicio universal” mediante la protección de los derechos de los usuarios, la promoción del acceso a estas tecnologías y la implementación de cinco estrategias: 1) acceso a internet, 2) publicación electrónica, 3) intercambio de conocimiento entre pares científicos, 4) preservación de datos digitales y 5) fomento de metadatos (UIT 2006).

Una de las herramientas más utilizadas para la implementación de estas cinco estrategias, son los Sistemas de Información -SI-, que como parte de las TIC, son

definidos como el conjunto integrado de elementos o componentes que reúnen (entrada), manipulan (procesos), almacenan y distribuyen selectivamente datos e información (salidas) y adicionalmente proveen acciones correctivas (retroalimentación) para alcanzar un objetivo (Stair y Reynolds 2009). El núcleo de los SI son las bases de datos -BD-, definidas como una colección integrada de datos almacenados en distintos tipos de registros, de tal forma que sean accesibles para múltiples aplicaciones, en donde la interrelación de los registros se obtiene de las relaciones entre los datos, más no de su lugar de almacenamiento físico (Senn 1990).

Hasta hace poco el conocimiento sobre el área marina del margen continental era exclusivo del sector industrial, sin embargo, la comunidad científica ha trabajado en la búsqueda y uso de nuevas tecnologías para su generación y especialmente en la implementación de SI que permitan o faciliten su transferencia a la comunidad en general, como parte de una solución práctica para la resolución de problemas y el entendimiento de su contexto (González 2000).

Este nuevo conocimiento, puesto al servicio de la mejor comprensión de los fenómenos biológicos y ambientales, ha generado un considerable volumen de datos en diversos formatos, además de múltiples retos para aprovechar verdaderamente sus potencialidades. Es el caso de los datos obtenidos a partir de técnicas de reconocimiento del fondo marino, como videos submarinos (Barrett *et al.* 2007), fotografías aéreas (Finkbeiner *et al.* 2001), imágenes satelitales (Schwehr *et al.* 2008), sonares multisonda (Weber *et al.* 2009) y plataformas robóticas (Nevala y Lippsett 2009), que requieren el desarrollo de destrezas especializadas para su manipulación, almacenamiento, uso y divulgación.

En la actualidad gran parte de la información biológica y de herramientas con gran potencial para el manejo de información en biodiversidad marina, son subutilizadas, dejando aún sin respuesta a muchos problemas

ambientales (NIH-NSF 2002) y muchas preguntas relacionadas con biodiversidad aún sin estudiar (Moore y Rugullies 2005). El principal reto para los investigadores es sin duda, la conformación y fortalecimiento de grupos interdisciplinarios, en los que expertos en biodiversidad sean entrenados en ciencias de la computación y así mismo, administradores de SI se den a la tarea de conocer los problemas en biología que requieren soluciones computacionales, entendiendo así los datos biológicos en profundidad como para determinar cuales herramientas tecnológicas pueden ser aplicadas y en conjunto generar soluciones novedosas.

Sin duda alguna los SI han desencadenado un cambio estructural en el ámbito productivo de la investigación, pues su enfoque en el desarrollo de soluciones computacionales para incluir el uso de datos biológicos, es uno de los más dinámicos y en constante crecimiento, permitiendo un mayor acercamiento con la sociedad moderna. Incluso, este desarrollo ha sido denominado como “*el sostén esencial de los campos biológicos del siglo XXI*” (NIH-NSF 2002).

Sin embargo, a pesar que la biodiversidad ha llegado a ser reconocida como un recurso invaluable de cada país, los esfuerzos para su conservación en el medio marino se encuentran muy por debajo de aquellos realizados en el medio terrestre (O’Dor 2004). Esto unido al escenario del uso de tecnología de punta para la exploración y explotación permanente de los recursos marinos que actualmente abarca todos los rangos de profundidad y extensión del océano, ha incrementado el riesgo de pérdida de biodiversidad marina considerablemente, llevando a una progresiva disminución en el número de especies y probables extinciones. Esto hace prioritario el desarrollo de diversas acciones encaminadas a ampliar el conocimiento requerido para administrar esta área y sus recursos adecuadamente.

Cada año se colectan en el mundo nuevos datos que tienen como finalidad contribuir en la evaluación del

impacto del cambio climático, las consecuencias de la contaminación marina, la destrucción de ecosistemas marino-costeros y el crecimiento poblacional sobre las costas, que aportan igualmente a cubrir la necesidad de identificar factores y procesos que tengan gran impacto sobre la biodiversidad.

Colombia, un país activo en las iniciativas globales de conservación (Andrade y Escobar 2002) y consciente del gran valor que la biodiversidad marina de sus aguas representa para el mundo (Díaz y Acero 2003), se ha dado a la búsqueda y a la incorporación de tecnologías para fortalecer el proceso de gestión del conocimiento sobre biodiversidad marina, con el propósito de optimizar los servicios a los entes que construyen, definen, extienden y hacen uso significativo de esta información. Desde hace más de una década se inició el desarrollo del Sistema de Información Ambiental Marina de Colombia –SIAM, como herramienta que articula la información ambiental marino costera generada, administrada y/o requerida en los ámbitos nacional, regional y local (Invemar(a) 2009).

Con el propósito de contribuir a futuras investigaciones y aportar al conocimiento sobre la diversidad en el área marina del margen continental colombiano (170 a 3000m de profundidad), este capítulo reseña algunas de las actividades desarrolladas que han aportado a la construcción del SIAM y que se enmarcan en el uso de las TIC y los SI.

En la primera parte, se explora el rol de las TIC como herramientas de apoyo a las actividades de análisis de los datos biológicos y caracterización de la biodiversidad marina, presentándolas divididas en dos grandes grupos de acuerdo a su grado de especialización y características funcionales relacionadas con la incorporación e integración de elementos espaciales. El primero es conformado por bases de datos y sistemas de Información, consideradas como herramientas no espaciales que ofrecen respuesta a preguntas relacionadas de

taxonomía y sistemática. El segundo por sistemas de información geográfica los cuales hacen posible entre otras aplicaciones, realizar inferencias alrededor de la distribución de la biodiversidad a partir del desarrollo de modelos para los fondos marinos o de la probabilidad de que se presenten determinadas asociaciones biológicas dadas ciertas condiciones ambientales y topológicas, además de ser la base para plantear propuestas de planificación con miras a la conservación de los recursos marinos.

La segunda parte, más que enfocarse en los procesos de análisis se centra en ejemplos concretos de servicios de información sobre biodiversidad marina para Colombia, disponibles en la internet, haciendo énfasis en el Sistema de Información en Biodiversidad Marina de Colombia –SIBM y en el portal que respondiendo en particular a las necesidades de información planteadas por la Agencia Nacional de Hidrocarburos aborda la biodiversidad desde una perspectiva integral.

## HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS DE DATOS BIOLÓGICOS

Son numerosas las herramientas de software que pueden servir a los investigadores de la biodiversidad en el área marina para el análisis de sus datos, más allá de las generalizadas hojas de cálculo. Sin embargo, la efectividad con que sean aprovechadas depende de la claridad que se tenga sobre las fortalezas y limitaciones de cada una de ellas en el contexto de la pregunta científica que se quiere resolver y de la experiencia que se tenga para interpretar adecuadamente los resultados que al aplicarlas generan.

Dejando de lado los criterios de acceso a estas herramientas relacionados con costos económicos, sistemas operacionales y requerimientos de hardware, se pueden clasificar desde el punto de vista del interés para la biodiversidad, y atendiendo a la importancia que la

distribución espacial de los datos tenga para su análisis, en dos grandes grupos. El primero conformado por aquellas en las que para dar una respuesta a las preguntas planteadas el componente espacial no tiene importancia, tales como hojas de cálculo, bases de datos y SI son suficientes para generar soluciones. Es el caso de cuando se requiere determinar la frecuencia relativa con que están representados ciertos órdenes taxonómicos en una colección.

Por el contrario, en aquellos casos en los que el análisis del componente espacial es relevante, se hace indispensable el uso de herramientas del tipo sistemas de información geográfica –SIG, que además de favorecer el ensamblaje y estructuración de los datos permitiendo actualizarlos, compararlos, manipularlos y analizarlos rápidamente (Elangovan 2006), integran la dimensión espacial a los datos biológicos, potencializando su uso y aprovechamiento para responder a una amplia gama de objetivos.

Una reseña del aporte de estos dos grandes grupos de herramientas de software al estudio de la biodiversidad marina se presenta a continuación.

### Bases de datos y sistemas de información

El interés global por el entendimiento y valoración de la biodiversidad con miras a su protección ha estimulado el desarrollo de potentes BD y complejos SI especializados en el tema.

El uso de BD ofrece muchas ventajas para la administración de datos pues además de proveer integridad y seguridad (Elmasri y Navathe 2000), favorecen el control de la redundancia, la generación de nueva información a partir de datos almacenados, la construcción de interfaces de usuario particulares, la definición de relaciones complejas y la posibilidad de establecer restricciones de acceso no autorizado.

Las BD son el mecanismo más adecuado para organizar grandes volúmenes de datos. En el campo de la biodiversidad han jugado un rol muy importante en lo referente al manejo de listados de especies. La organización de mucho más de un millón de especies descritas hasta el presente, a las que corresponden más de un nombre científico publicado (sinonimias) y más de un nombre común, hace indiscutible su uso. Ejemplo de ello es *Species 2000*, una de las BD taxonómicas más reconocida en el mundo (Bisby *et al.*, 2010). De hecho existen BD especializadas para casi todos los grupos taxonómicos a nivel de reino o filum comúnmente conocidos como catálogos, el caso de *AlgaeBASE*, es un ejemplo tangible con información sobre algas terrestres, marinas y de agua dulce (Guiry y Guiry 2010).

Se afirma que la red mundial de comunicación presenta el medio perfecto para la colaboración de estudios taxonómicos (Wheeler 2004), donde la actualización regular, la integración y la corrección de errores son tareas imperativas (Valdecasas y Camacho 2003). Por este medio, se entregan en la actualidad al usuario, herramientas como *ITIS Taxonomic Workbench* (ITIS 2009) que le permiten ingresar y actualizar datos en los diversos catálogos.

Por su parte, los SI ofrecen la oportunidad de integrar varios aspectos de la biodiversidad y en consecuencia generan productos de información de mayor complejidad y riqueza.

En el caso particular de la biodiversidad, los SI le permiten a un investigador organizar y acceder en un solo lugar a datos de mucho interés para la adecuada comprensión de cada especie como los hábitos alimentarios, los mecanismos de reproducción o la anatomía. Simultáneamente el sistema puede entregar información de manejo para la misma especie a nivel regional o global, de modo que es posible conocer por ejemplo, cuál es la clasificación de la misma dentro de las categorías de conservación establecidas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

Los SI más allá de contener y proveer información descriptiva pueden ofrecer análisis estadísticos relacionados con índices de biodiversidad basados en medidas de tendencia central o en modelos matemáticos y/o estadísticos programados específicamente.

Un ejemplo de SI es *PLATYPUS* (ABRS 2007) paquete de software libre, adecuado para la recopilación de datos, gestión taxonómica, geográfica, ecológica, despliegue de gráficos e información bibliográfica y gene-

ración automática de archivos en la web. Otra opción más robusta y apropiada para la gestión de actividades de investigación en biodiversidad, fue concebida por la Universidad de Kansas y distribuida con el nombre de *SPECIFY*. Este sistema administra registros de especímenes de colecciones de historia natural (University of Kansas 2009) y es utilizado en la actualidad por el Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia para la administración de sus colecciones.

**Tabla 1.** Listado de algunas bases de datos y sistemas de información que incluyen registros en biodiversidad marina a nivel global (\*).

NOMBRE	SIGLA	DESCRIPCIÓN
Ocean Biogeographic Information System	OBIS	Proveedor de información mundial geo-referenciada sobre especies marinas, con herramientas en línea para visualizar relaciones entre las especies y su entorno.
Continental Margin Ecosystems	CO-MARGE	Esfuerzo integrado para documentar y explicar los patrones de biodiversidad en las márgenes continentales escarpadas, incluyendo las interacciones potenciales de su variedad de hábitats y ecosistemas.
Census of Diversity of Abyssal Marine Life	Ce-DAMar	Proyecto que documenta la diversidad de especies de las llanuras abisales para aumentar la comprensión de las causas históricas y los factores ecológicos que regulan la diversidad biológica y el cambio global.
Mid-Atlantic Ridge Ecosystem Project	MAR-ECO	Estudio exploratorio de la macrofauna del norte del Océano Medio Atlántico, de los procesos que controlan su distribución y de las estructuras de la comunidad en las aguas cercanas a la cordillera del Atlántico medio
Natural Geography in Shore Areas	NaGISA	Esfuerzo de colaboración internacional para inventariar y monitorear la biodiversidad en la zona estrecha de bajamar de los océanos del mundo a profundidades de menos de 20 metros.
Census of Marine Zooplankton	CMarZ	Evaluación mundial de la biodiversidad taxonómica de plancton animal, de las especies conocidas y descritas en quince grupos taxonómicos principales.
Global Census of Marine Life on Seamounts	CenSeam	Estudio global de los ecosistemas de los montes submarinos, para determinar su papel en la biogeografía, la diversidad biológica, la productividad y la evolución de organismos marinos, y para evaluar los efectos de la explotación humana.
Biogeography of Deep-Water Chemosynthetic Ecosystems	ChEss	Estudio mundial de la biogeografía de ecosistemas quimio sintéticos de aguas profundas y los procesos que los impulsan.
The Microbial Oceanic Biogeographic Information System	MICRO-BIS	SI del proyecto de censo internacional de microorganismos marinos de los que se estima representan el 90 por ciento de la biomasa de los océanos.
History of Marine Animal Populations	HMAP	Programa de investigación que recopila información histórica sobre las actividades pesqueras marinas con el fin de evaluar los cambios tecnológicos y culturales y su impacto en los recursos marinos.
Pacific Ocean Shelf Tracking Project	POST	Recopilación de datos sobre el comportamiento de los animales marinos basado en técnicas de telemetría y SI

(\* Listado elaborado a Marzo de 2010)

Algunos otros ejemplos de BD y SI que incluyen registros en biodiversidad marina a nivel global se listan en la Tabla 1 sus portales pueden ser consultados mediante un buscador, haciendo uso de sus siglas.

Las herramientas de software se encuentran en constante evolución y la tendencia tecnológica apunta a ofrecer servicios que ejecutan o almacenan datos no en los computadores de los usuarios sino en cualquier otro lugar en un servidor no definido, a lo que se llama computación en la nube (Aboulnaga *et al.* 2009). La computación en la nube simplifica las tareas de actualización del software y el costo de almacenamiento es muy reducido. Actualmente existen SI sobre biodiversidad que ofrecen servicios que apuntan hacia la computación en la nube, en ellos los investigadores entregan los datos en custodia a una organización que asume su administración garantizando a cada uno de los aportantes, los derechos de autor respectivos a la vez que estos se preocupan sobre el mantenimiento del software y mantenimiento del SI en sí. Como beneficios adicionales la organización que custodia los datos ofrece servicios de divulgación y herramientas de software que generan productos de información de interés general, como mapas de distribución de especies.

Un ejemplo de servicio de custodia de datos a nivel global lo constituye el SI desarrollado por *El Censo de la Vida Marina*, un proyecto de investigación que concluye en 2010, en el que a lo largo de 10 años se desarrollaron métodos mejorados para el Sistema Global de Observación de los Océanos, se implementaron métodos de acceso a los datos sobre la vida marina por medio del Sistema de Información Biogeográfica del Océano –OBIS–, y se generó información para la gestión de los recursos marinos (Trew y Harding 2009).

### Sistemas de información geográfica

Los mapas han sido considerados como una herramienta útil en estudios ecológicos para indicar la distribu-

ción de las especies, la extensión de nichos y la generalización de hábitats. La complejidad de los problemas ecológicos involucra gran cantidad de datos y variedad de fuentes de información, así como técnicas analíticas imposibles de aplicar a mapas convencionales (Vogiatzakis 2003).

Estas limitaciones se han superado con la evolución de la cartografía asistida por un ordenador, ya que éstos proporcionan la capacidad y la velocidad para el análisis de grandes y complejas bases de datos (Bernhardsen 2002). Por otra parte, la evolución paralela en el procesamiento de datos espaciales de disciplinas como la topografía, la fotogrametría, la teledetección y la geografía, han brindado la oportunidad para que distintos conjuntos de datos espaciales, así como técnicas de procesamiento, se unan para dar origen a los SIG (Burrough y McDonnell 1998).

Los SIG se consideran una tecnología horizontal, en el sentido que manejan una gran cantidad de aplicaciones en diferentes disciplinas (Tomlinson 2007). Son definidos como sistemas basados en ordenadores, diseñados específicamente para facilitar el almacenamiento digital, recuperación, análisis de datos referenciados espacialmente y su divulgación. Esto ha permitido la complementariedad de análisis ecológicos tradicionales con modelos espaciales, generando así nuevos enfoques de conocimiento.

Es el caso de los modelos ecológicos, definidos como técnicas que simulan sistemas naturales y procesos ecológicos combinando el modelado matemático, el análisis de sistemas y técnicas informáticas, con la ecología y la gestión del medio ambiente y sus recursos (Jorgensen y Bendoricchio 2001). Esta técnica, en unión con los SIG, puede ofrecer oportunidades mucho más elaboradas para el análisis de la diversidad en el área marina, como la obtención de inventarios detallados de amplio uso en la conservación, abarcando dos objetivos principales: explicación y predicción.

La mayoría de los SIG carecen de capacidad predictiva para examinar problemas complejos, en tanto que numéricamente, los modelos ecológicos están orientados a responder al carácter espacial de problemas ecológicos (Parks, 1993). El hecho de que ambos métodos compartan como objetivo común el abordar problemas ecológicos, pero al mismo tiempo, presenten limitaciones cuando son empleados por separado, ha favorecido su integración (Vogiatzakis 2003).

Las funcionalidades de los SIG, en conjunto con el modelamiento ecológico, aplicadas al análisis de datos biológicos han permitido realizar avances significativos en el conocimiento de la diversidad marina en el margen continental colombiano. Esto ha sido logrado a partir

de la estructuración de BD especializadas con referencia espacial y el uso de funciones básicas para la representación y análisis espacial. A continuación se describen algunas de estas funciones básicas y se presentan ejemplos de análisis espaciales realizados, con la finalidad de proveer bases para su aplicación en otros estudios.

**Representación espacial y gráfica**

De la misma forma en que el término biodiversidad incluye la expresión genética de especies, su ecología y variedad de respuestas al cambio ambiental (UNEP 1994), así de compleja puede resultar su representación espacial.

La representación de la expresión de biodiversidad marina en concordancia con el nivel espacial de manejo

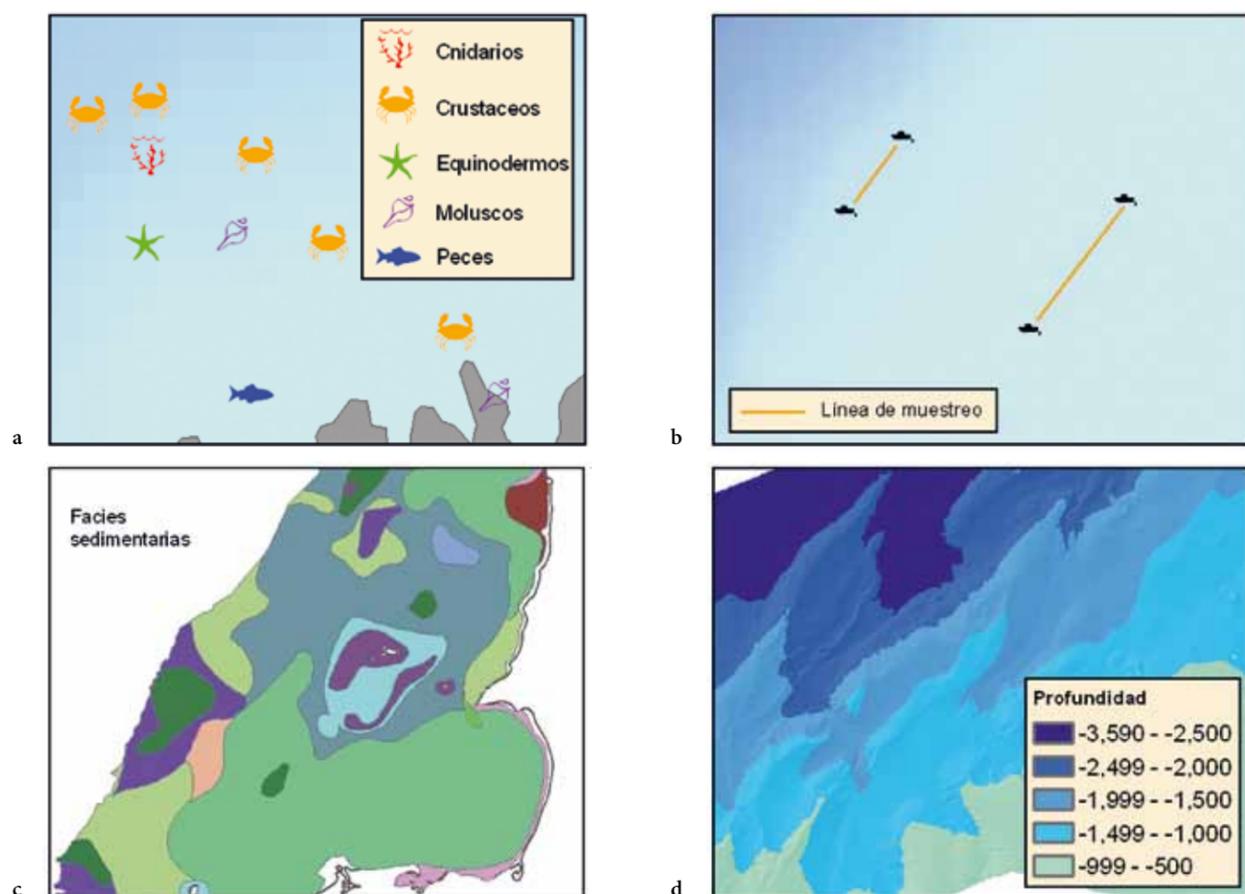
requerido para su conservación, puede variar desde la escala de micro-comunidades (sitios de <10 km<sup>2</sup>) hasta las denominadas provincias marinas (mayores a 1000 km<sup>2</sup>) (Day y Roff 2000). Sin embargo, dos elementos son requeridos para su representación a través de todas las escalas espaciales: un registro (observación, colecta o estimación) y su posición dentro del globo (ej. latitud y longitud). Dentro de estas diferentes escalas de representación, la biodiversidad marina o “sustitutos” de la misma se expresan geográficamente a través de puntos, líneas, polígonos o retículas (raster) La Figura 1 muestra algunos ejemplos de representación gráfica de diferentes variables u objetos, comúnmente empleados en análisis de biodiversidad marina.

En un SIG, los datos geográficos son representados por medio de capas de información, las cuales están compues-

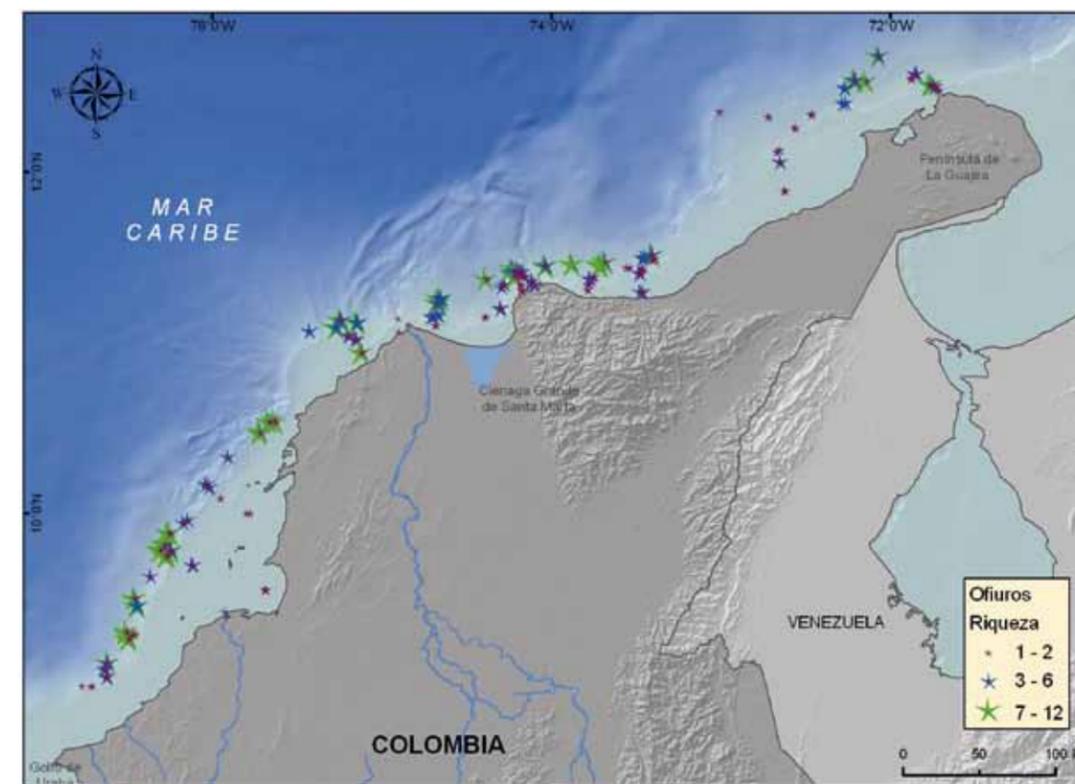
tas de una parte geométrica y una parte temática que contiene atributos que los describen y caracterizan. Este segundo componente es almacenado en una o varias tablas.

Puede decirse que la manera más sencilla de examinar un conjunto de datos geográficos es a partir de su representación gráfica, la cual puede ser generada por medio de diferentes esquemas de clasificación relacionados con variables visuales como forma, color, orientación y tamaño.

La representación gráfica depende amplia y directamente de la complejidad de la información incorporada al sistema. En la Figura 2, se muestra un ejemplo de representación gráfica, resultado de la consulta a una BD, donde se estimó el número de especies por sitio de muestreo, para un grupo taxonómico particular.



**Figura 1.** Ejemplos de representación espacial en el margen continental: (a) presencia de especies clasificada por grandes grupos taxonómicos, (b) líneas de arrastre, (c) facies sedimentarias y (d) profundidad.



**Figura 2.** Representación gráfica construida a partir de una consulta temática y reclasificación de los atributos temáticos sobre la riqueza de especies de estrellas quebradizas (Ofiuos).

**Análisis espacial**

El análisis espacial es de muchas maneras lo esencial de los SIG, debido a que incluye todas las transformaciones, manipulaciones y métodos que pueden ser aplicados a los datos geográficos (Longley *et al.* 2005). Diversos autores clasifican o agrupan de diferentes maneras estos procesos (De By *et al.* 2001, Albrecht 2004, Longley *et al.* 2005), abarcando consultas simples, operaciones entre capas, funciones de optimización, análisis tridimensional, resúmenes descriptivos, pruebas de hipótesis y modelación espacial. Es claro, sin embargo, que la aplicación individual o combinación de estas permite dar un valor agregado a los datos analizados y generar nuevo conocimiento, permitiendo soportar de mejor manera la toma efectiva de decisiones.

En el caso de los datos geográficos marinos del margen continental el enfoque no es diferente, pues los métodos de análisis espacial pueden variar desde consultas de tablas asociadas a capas temáticas, hasta la estimación de la probabilidad de distribución de especies usando descriptores ambientales. Si bien inicialmente pensados para ambientes terrestres, son aplicables de igual forma al medio marino.

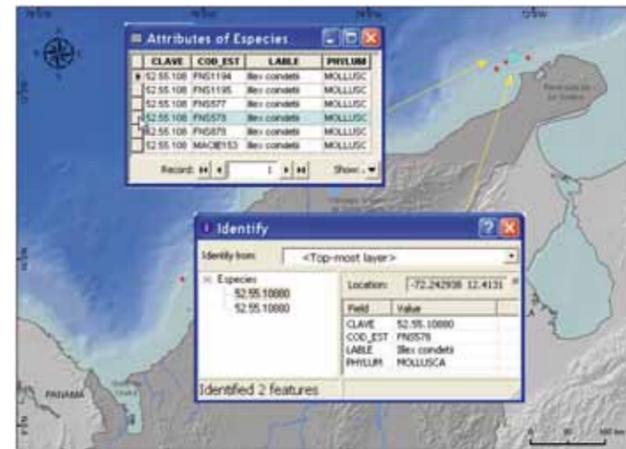
Una BD con referencia espacial, bien estructurada y conceptualmente definida, sumada al conocimiento necesario para la formulación de preguntas pertinentes, son la clave para potencializar esta herramienta.

Algunos ejemplos de la implementación de operaciones analíticas universales que ofrecen los SIG para la consulta y análisis de datos de biodiversidad marina, utilizados para los respectivos análisis en varios capítulos de esta publicación, se reseñan a continuación.

**Consultas de selección**

Las consultas de selección pueden realizarse a través de la exploración de la tabla de atributos asociada a una capa, por medio de relaciones espaciales o identificando directamente en pantalla.

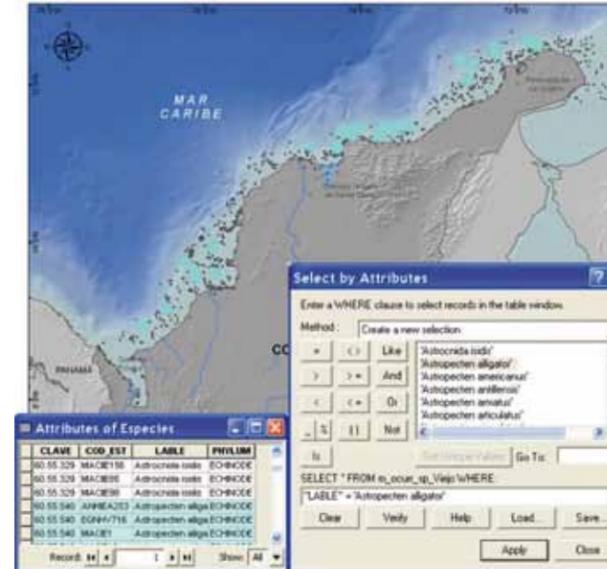
El proceso básico para identificar la ubicación de una especie, hábitat o sustituto es por selección o identificación directa de objetos y atributos sobre la pantalla, por ejemplo en la Figura 3 se ha seleccionado un registro en donde se ha colectado una especie de calamar.



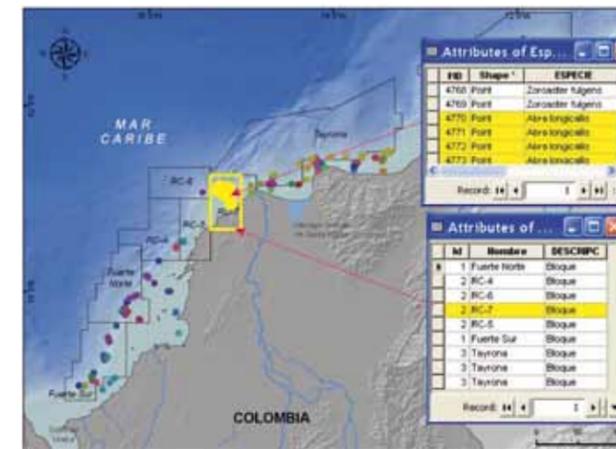
**Figura 3.** Consulta de selección o identificación directa; ocurrencia de una especie de calamar.

La selección en la tabla de atributos es un proceso que permite a través de un filtro escoger registros según un criterio. Para esto comúnmente, suelen emplearse sentencias en lenguaje SQL (del inglés Structured Query Language). Los programas de SIG en la actualidad emplean entornos gráficos que brindan la posibilidad de realizar estas consultas sin la necesidad de conocer completamente la sintaxis SQL. La Figura 4 muestra un ejemplo de una consulta en la que se identifica los reportes de captura o avistamiento de un organismo marino en particular.

Las consultas de tipo espacial toman en cuenta relaciones de localización y forma de los objetos. Como ejemplo, si se necesitara identificar cuáles de las especies endémicas, han sido registradas por los expertos en un área potencial de exploración de hidrocarburos, podría recurrirse a este tipo de consulta (Figura 5).



**Figura 4.** Consulta de selección a partir de sentencia SQL; registros de *Astropecten aligator*.



**Figura 5.** Consulta de selección espacial por área específica de interés (polígono); registro de especies de megafauna en el bloque de exploración de hidrocarburos RC-7.

A partir de las diversas consultas de selección pueden asignarse atributos adicionales a los datos que permitan una nueva clasificación. De la misma manera es posible crear nuevas capas temáticas simplemente exportando los objetos seleccionados.

**Operaciones entre capas**

A diferencia de la selección simple de atributos, existen procesos de análisis espacial que requieren generar nue-

vas capas a partir de una combinación de los elementos geométricos y/o atributos de una o varias capas. Entre estas operaciones se encuentran generalización, intersección, superposición y análisis de proximidad.

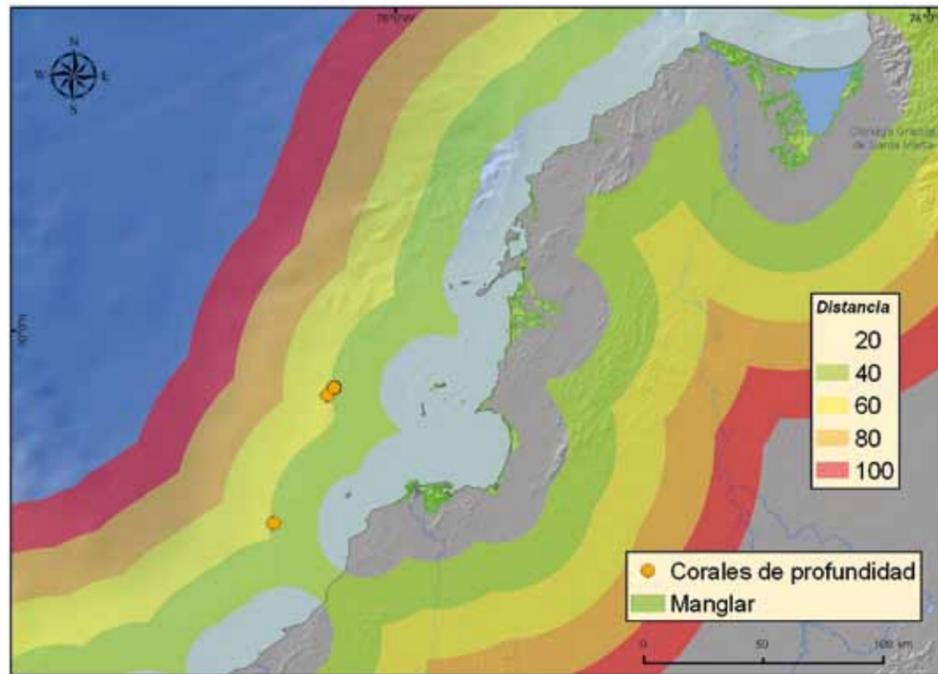
La *generalización* agrupa geoméricamente entidades según la similitud de algunos atributos temáticos. Es posible por ejemplo, generar una capa de paisajes a partir de una capa de hábitats, pues ésta última contiene elementos del entorno físico y características biológicas que permiten definir criterios para favorecer su delimitación.

La *intersección* de capas permite combinar geoméricamente los objetos representados en las capas temáticas que comparten una misma localización geográfica, conservando también sus atributos.

La *superposición o unión de capas* es uno de los procesos más empleados en SIG. Se asemeja a la intersección con la particularidad de que se conservan todos los elementos geométricos de las capas utilizadas, incluyendo los que no tienen la misma posición geográfica. Un ejemplo de ello es la clasificación de las características del fondo generada mediante la integración de conjuntos de datos abióticos, dando origen a las unidades geográficas que Roff y Taylor (2000) definen como paisajes del fondo marino.

El término paisaje marino, puede definirse como una extensión del fondo que integra características abióticas particulares con base en su estructura física (topografía marina). Dentro de los parámetros ambientales que los definen se cuentan entre otros, la batimetría, la pendiente del fondo, los tipos de sedimento, la temperatura del fondo, la salinidad, la distribución del oxígeno y la geomorfología.

La ventaja de generar paisajes marinos (parámetros abióticos) con herramientas SIG, radica en que los procesos estructurales son más fáciles de observar que en los registros biológicos. La posibilidad de superponer capas de información para generar correlaciones con



**Figura 6.** Análisis de proximidad; representación de la distancia entre las áreas de manglar del Caribe colombiano y las áreas de presencia de corales de profundidad.

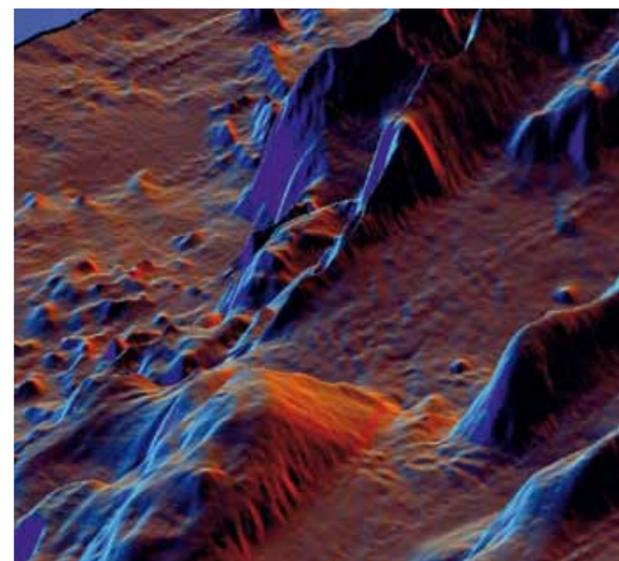
una visión geográfica, han permitido que jueguen un papel clave para la delimitación de sistemas bentónicos ecológicamente relevantes, comunidades o especies biológicas particulares.

El *análisis de proximidad*, permite evaluar características del área circundante a un punto, segmento o región de interés (Longley *et al.* 2005), siendo de gran utilidad para delimitar zonas de influencia de lugares objeto de estudio, como por ejemplo, la distancia entre áreas con bosque de mangle y la ubicación de comunidades específicas en el área del margen continental (Figura 6).

**Análisis tridimensional**

Los SIG también permiten el uso de herramientas para la visualización tridimensional de datos brindando la posibilidad de identificar particularidades que no sería posible representar desde una perspectiva plana. Esta característica es particularmente importante en el ambiente marino, donde es deseable que las características de la columna de agua puedan ser relacionadas con

observaciones o procesos del lecho marino (Connor *et al.* 2006). En la Figura 7 se observa un modelo de sombras y dirección de la pendiente obtenido a partir de un modelo de profundidad.



**Figura 7.** Modelo de sombras con realce para la identificación de la dirección de la pendiente

**Resúmenes descriptivos**

También es posible desde los SIG hacer *resúmenes descriptivos* (Longley *et al.* 2005), los cuales son el equivalente espacial de la estadística descriptiva (ej. media y desviación estándar) o la comúnmente usada en el análisis multivariado de comunidades (dendrogramas, análisis de componentes principales, probabilidad de clases).

**Pruebas de hipótesis**

Estas pruebas se enfocan en los procesos de razonamiento desde los resultados de una muestra limitada para hacer generalizaciones sobre la población entera; son la base de la inferencia estadística y se ubican en el núcleo del análisis estadístico. Permiten por ejemplo, determinar si un patrón de puntos pudo haber surgido aleatoriamente, basándose en la información de una muestra. En el caso de datos biológicos espaciales es usado en la definición de sitios con altas concentraciones de diversidad o “hot spot”, que con acompañamiento de los SIG permite dar una respuesta con una referencia geográfica.

**Aplicaciones**

Específicamente en la experiencia SIG enfocada al apoyo del estudio de la biodiversidad de ambientes profundos (margen continental), se presentan a continuación tres rutinas que ilustran su gran potencialidad: la modelación de formas del fondo marino, la determinación de probabilidad de ocurrencia de asociaciones biológicas distintivas y la selección de áreas significativas de biodiversidad en función de la representatividad de objetos de conservación.

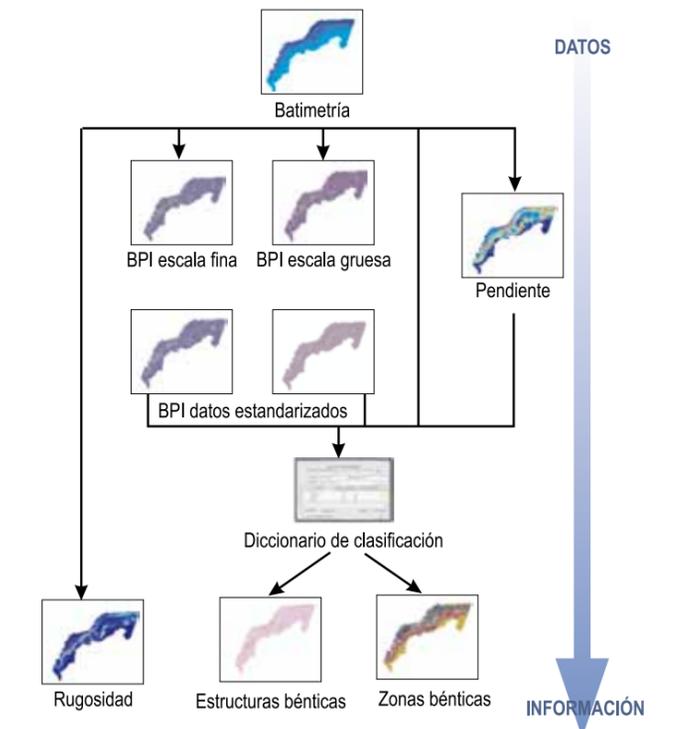
**Modelación de formas del fondo marino**

La generación de paisajes del fondo marino es la primera aproximación en la representación de ecosistemas de profundidad a nivel regional (>100 Km<sup>2</sup>) (Al-Hamdani y Reker 2007). Se basa en supuestos que pretenden definir áreas o regiones, que cumplen con características físicas homogéneas inferidas por condiciones como la sedimentología, la topografía, la hidrodinámica y la

productividad. El uso de SIG permite estandarizar la información proveniente de diferentes fuentes y a través de las operaciones analíticas, revelar características comunes.

La definición de límites marinos son solo concebidos en la modelación ecológica, debido a que en la realidad, los límites son entendidos como áreas de transición o gradientes difusos (Ramírez-González 1999). En este sentido, las herramientas SIG apoyan el trazado de líneas sobre preconceptos definidos por expertos. Ejemplo de esto, es la representación de 155 paisajes marinos en el Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia Escala 1:500.000 (Ideam *et al.* 2007).

Una propuesta metodológica para la delimitación de formas del fondo, base para la definición de paisajes, es la desarrollada por investigadores de la Universidad de Oregon, denominada Modelo Bentónico de Terreno o



**Figura 8.** Metodología Modelo Bentónico de Terreno –BTM (Modificado de Wright 2005).

BTM por sus siglas en inglés (Benthic Terrain Modeler) (Wright *et al.* 2005).

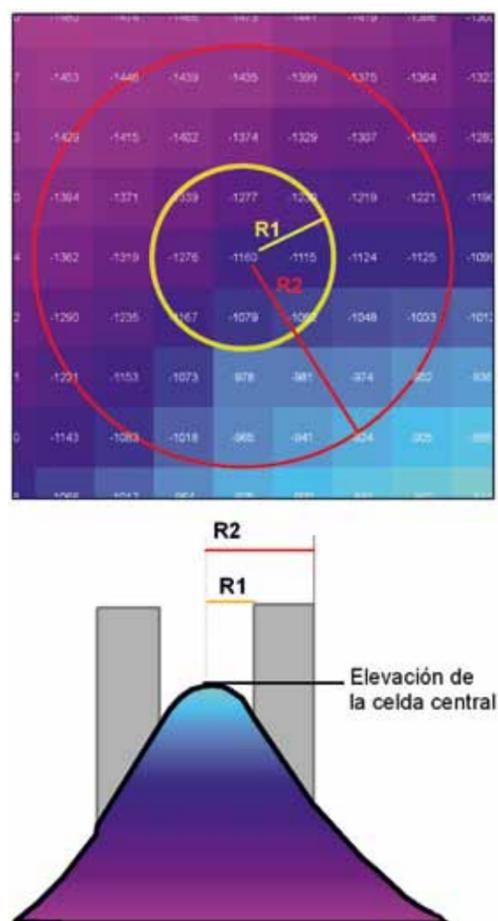
El BTM permite clasificar formas del fondo marino tomando como base la relación entre la profundidad (batimetría), la pendiente y el índice de posición batimétrica –BPI- (del inglés Bathymetric Position Index) como se grafica en la Figura 8. EL BPI, corresponde a la diferencia de profundidad entre un punto en el espacio y el promedio de valores de su entorno.

En este modelo el tamaño de las formas dependerá de la escala de trabajo y del nivel de detalle (resolución espacial) del modelo digital de profundidad –MDP- utilizado. Si se requiere, por ejemplo, definir formas a escala general para toda la zona del talud y plataforma continental del mar Caribe colombiano, se puede hacer uso del modelo digital para el océano GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans).

GEBCO es una grilla batimétrica global con un espaciamiento de un minuto de arco. Se basa principalmente en la versión más reciente de los contornos batimétricos que figuran en el Atlas Digital de GEBCO, contornos adicionales de control y los datos de sondeo por puntos obtenidos en muchas regiones, zonas de aguas poco profundas y sobre todo semicerradas, para limitar el proceso de grillado (GEBCO 2010). La resolución espacial (píxel) de 930 metros aproximadamente, resulta adecuada como base para la representación de formas del margen continental del Caribe.

El BPI es calculado a partir de un MDP por medio de la estimación de la diferencia entre el valor de una celda (píxel) y el promedio de valores de las celdas aledañas en un área específica, la cual puede tomar la forma de un rectángulo, círculo o anillo (Lundblad 2006), como muestra la Figura 9.

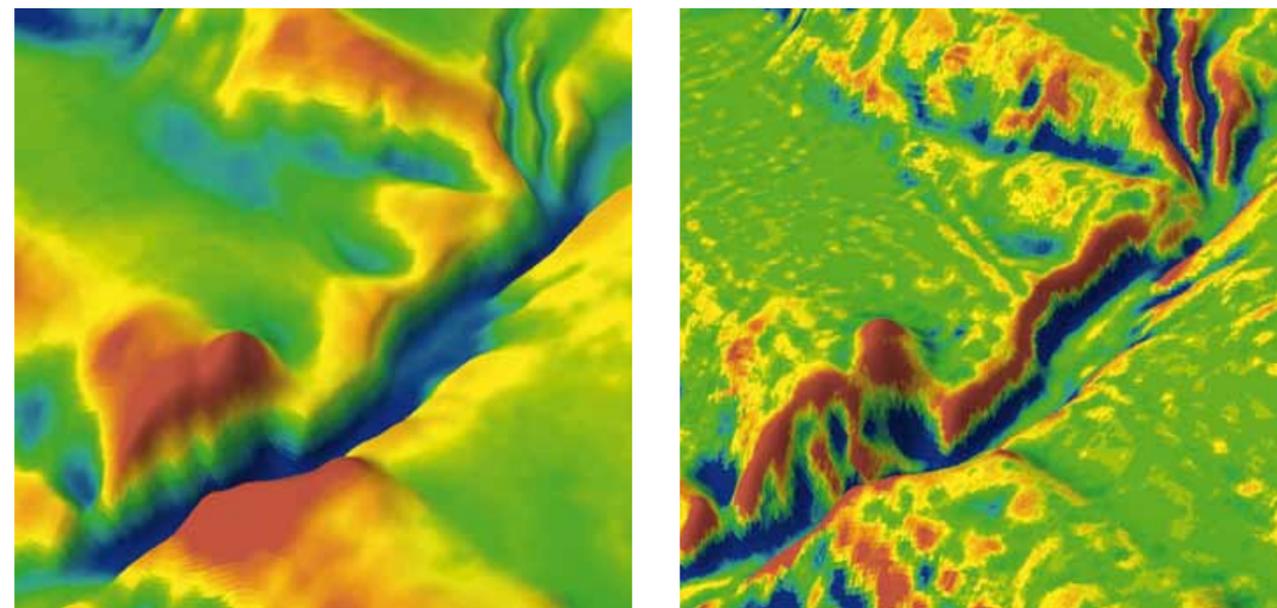
Valores de BPI positivos y elevados representan regiones más altas que su entorno, como montañas o crestas.



**Figura 9.** Área de influencia para la estimación del BPI. Los valores R1 y R2 equivalen al área comprendida entre los círculos de radio R1 o R2. (Modificado de Wright 2005)

Por el contrario, valores negativos extremos muestran regiones menos elevadas que pueden relacionarse con depresiones o cañones. Las zonas con valores de BPI relativamente cercanos a cero corresponden a planos o lugares con una inclinación suave y constante.

La selección del radio externo para la estimación del BPI es fundamental en la adecuada representación de las formas básicas del fondo marino; un radio demasiado pequeño puede llegar a generalizar elementos de gran tamaño, resaltando solo las formas más pequeñas. De la misma manera un radio muy grande puede llegar a excluir elementos pequeños de interés.



**Figura 10.** Índice de posición batimétrica –BPI- con radio externo de 1.25 km (izquierda). BPI con radio externo de 0.5 km (derecha). Crestas en tonos naranja oscuro, depresiones en tonos azules y en verdes y amarillos claros se observan zonas más planas.

En la Figura 10, se representa el resultado de la aplicación de BPI a un modelo digital de profundidad obtenido a partir de la información batimétrica proporcionada por un sonar de barrido lateral con una resolución espacial de 25 metros. A la izquierda puede notarse como resaltan las estructuras de gran tamaño al usar un radio externo de 1,25 km. Se distinguen grandes crestas al igual que depresiones anchas y profundas, sin embargo no se definen bien las estructuras de menor tamaño. La figura de la derecha muestra un BPI estimado con un radio externo de 0,5km en la misma zona; se resaltan cañones y crestas más pequeñas que no logran diferenciarse en el BPI de escala gruesa, con el inconveniente de que las formas más grandes no son generalizadas brindando la apariencia de una mayor heterogeneidad.

El proceso de clasificación (zonación) de las formas del fondo marino se realiza a través de la estandarización y superposición de índices BPI (escala fina y gruesa) con la pendiente (Figura 8), haciendo uso de un diccionario de datos que incluye los rangos de cada variable, en

cada una de las clases. La Tabla 2 muestra el diccionario empleado para la modelación del fondo marino a escala general para el Caribe colombiano.

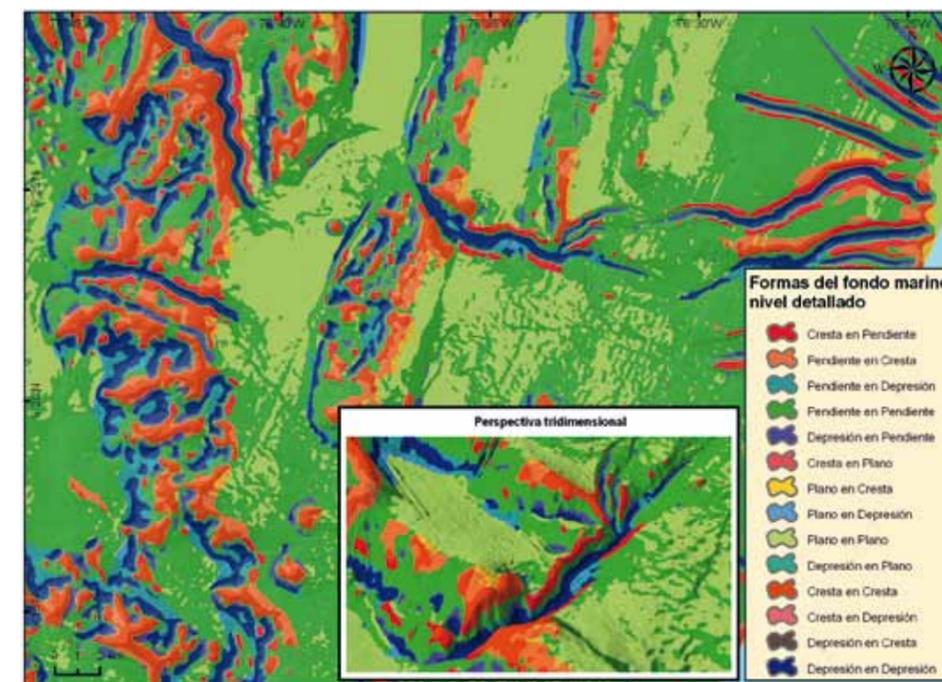
En la Figura 11 se encuentra una muestra del resultado final de aplicar los parámetros presentados en la Tabla 2. Se resaltan los cañones (depresiones) y las crestas en sus diferentes niveles de profundidad, diferenciado también los planos y las superficies de mayor pendiente. En la parte inferior de la figura, se aprecia una perspectiva tridimensional en dirección suroeste, en la que se puede notar la profundidad de los cañones y la altura de las crestas. Cabe resaltar que este modelo solo emplea un BPI de escala gruesa sin tener en cuenta el BPI de escala fina.

Algunas veces es posible o deseable, desarrollar modelos locales, donde procesos de prospección con ecosonda permiten obtener resoluciones espaciales de profundidad más detalladas (25-50 metros).

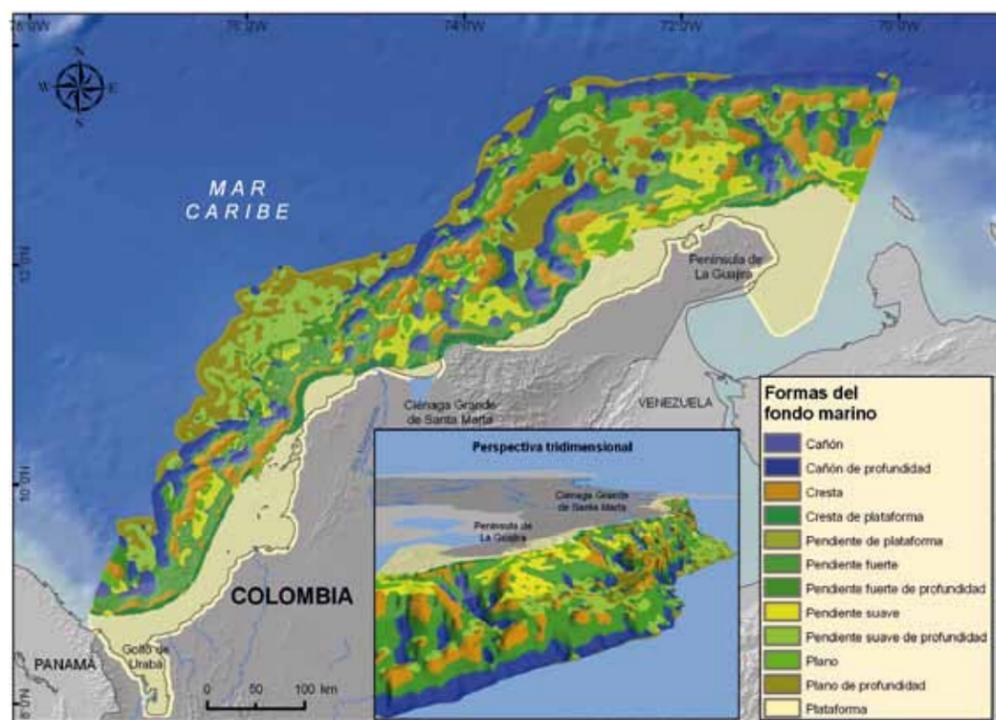
Clasificaciones a escalas detalladas permiten diferenciar las áreas dentro de las zonas que las componen; por

**Tabla 2.** Diccionario de datos del modelo bentónico de terreno -BTM. Donde BPI es el índice de posición batimétrica, m=pendiente y p=profundidad.

Símbolo	Zona	BPI	m	p
	Plataforma	-100 a +100	< 1°	0 a 150
	Cresta de Plataforma	> =100		0 a 150
	Pendiente de Plataforma	-100 a +100	>= 1°	0 a 150
	Cresta	>= 100		> 150
	Cañón (depresión)	< -100		150 a 1700
	Plano	-100 a +100	< 1°	150 a 1700
	Pendiente Suave	-100 a +100	1°a 2°	150 a 1700
	Pendiente Fuerte	-100 a +100	>= 2°	150 a 1700
	Plano de profundidad	-100 a +100	< 1°	> 1700
	Pendiente suave de profundidad	-100 a +100	1°a 2°	> 1700
	Pendiente fuerte de profundidad	-100 a +100	>= 2°	> 1700
	Cañón de profundidad	< -100		> 1700



**Figura 12.** Clasificación de formas del fondo marino a escala detallada.



**Figura 11.** Formas del fondo marino en la plataforma y talud del Caribe Colombiano. En el cuadro inferior se visualiza una representación 3D, vista desde la región norte.

ejemplo, una estructura como una cresta está compuesta por la cima de la cresta (cresta en cresta), zonas inclinadas de la cresta (pendiente en cresta). De la misma forma un “plano en cresta” de gran tamaño puede ser indicativo de la cima de una meseta. También puede notarse que la clase “depresión en depresión” puede indicar el fondo de un cañón estrecho. La clase “plano en depresión” puede estar relacionada con el fondo de un cañón más ancho. La Figura 12 muestra un ejemplo de la aplicación de esta clasificación.

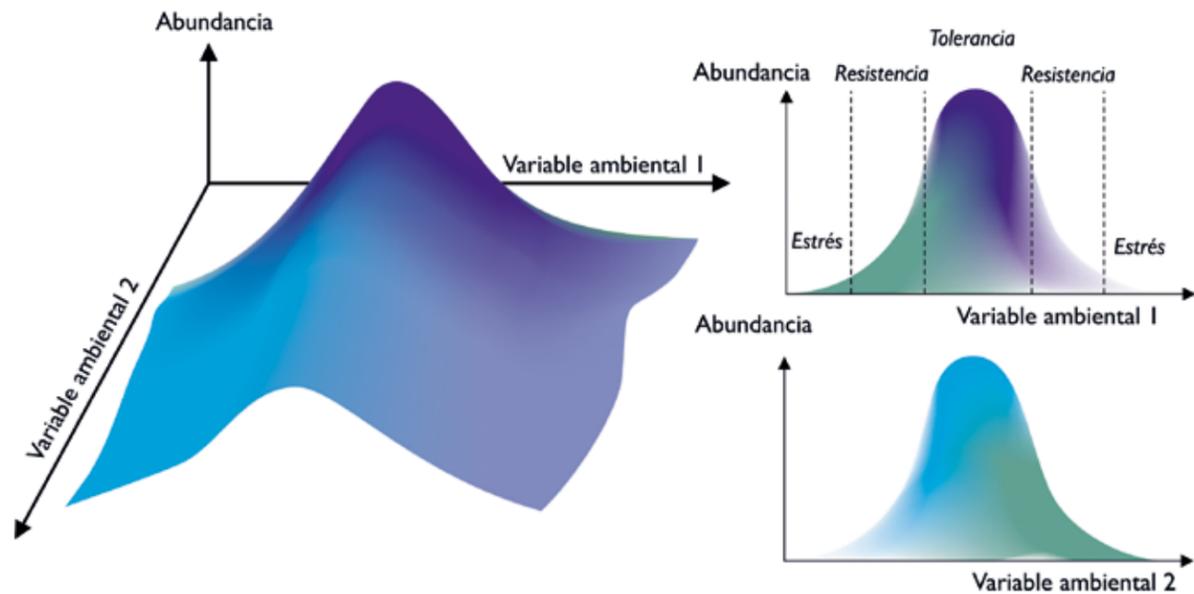
*Modelo de distribución de asociaciones biológicas distintivas*

El desarrollo de mapas de distribución de especies mediante modelos multivariados basados en puntos de ocurrencia de especies sobre variables ambientales es actualmente una práctica generalizada en el estudio de la biodiversidad (Degraer *et al.* 2008, Verfaillie *et al.* 2009, Gogina *et al.* 2010).

Estos modelos utilizan atributos ambientales que definen cambios progresivos en el espacio o gradientes

(Ramírez-González 1999). Es bien sabido que las comunidades bentónicas, se asocian con gradientes naturales en el sustrato (textura, tamaño de grano, sales minerales, etc.) y en el cuerpo de agua circundante (turbidez, salinidad, temperatura, incidencia lumínica o nutrientes) (Engle y Summers 1998). Estas conocidas asociaciones son la base conceptual en la cual se asientan los modelos de distribución de especies.

La relación existente entre una variable ambiental y la abundancia de una determinada especie, sigue una curva que se asemeja a una parábola, o a una distribución de probabilidad normal, denominada coenocline (Figura 13). La característica básica de esta relación radica en la existencia de un punto ambiental óptimo para el desarrollo de cada especie o asociación a partir del cual un desplazamiento en uno u otro sentido repercute negativamente en ella, pasando de una zona de tolerancia a una de resistencia para llegar finalmente a una de estrés (Ramírez-González 1999).



**Figura 13.** Relación entre la abundancia de una especie y dos variables ambientales determinantes (Modificado de Ramírez-González 1999).

La identificación de coenoclinas en medios naturales constituye una tarea difícil y a menudo infructuosa, mucho más aun en el medio marino, dada la presencia conjunta y a su vez cambiante de muchas variables ambientales en un determinado espacio.

La ventaja del uso de esta aproximación radica en el hecho de que el rango de condiciones que se presume influencia la distribución de asociaciones biológicas distintas pueden ser delimitadas en unidades geográficas imaginables en el espacio (por ejemplo hábitats) que son factibles de ser representadas, aún con la falta de información biológica detallada.

Un ambiente distintivo es definido como, un ambiente marino con características extraordinarias, que lo hacen único o especial en términos ambientales o ecológicos. Se caracteriza por no tener continuidad en el espacio o por no encontrarse de manera contigua (Roff y Taylor, 2000). Un ejemplo de ello, son los bancos de corales de profundidad.

En el Caribe colombiano se tiene la certeza de la presencia de bancos de corales azooxantelados en dos sitios

mar afuera: 1) a 150 metros de profundidad, cercano al Archipiélago de San Bernardo e Islas del Rosario y 2) a 200 m de profundidad frente a Santa Marta; teniendo sospecha en un tercer sitio, a 70 metros frente a la península de La Guajira (Reyes *et al.* 2005, Santodomingo *et al.* 2007).

Cada uno de estos sitios exhibe características particulares del fondo (relieve y sustrato) que sugieren la presencia de estructuras arrecifales. Estas características pueden ser resaltadas mediante la ayuda de SIG, identificando aquellas áreas que comparten los mismos atributos ambientales, utilizando un modelo con enfoque de regresión logística.

Si bien son muchas las herramientas disponibles para generar modelos predictivos de distribución de especies (Anderson *et al.* 2003, Cogan *et al.* 2009, MESH 2008), a continuación se presenta como ejemplo la implementación de DesktopGARP (2002) usando el set de datos de ocurrencia de corales azooxantelados recolectados a lo largo del margen continental del Caribe colombiano.

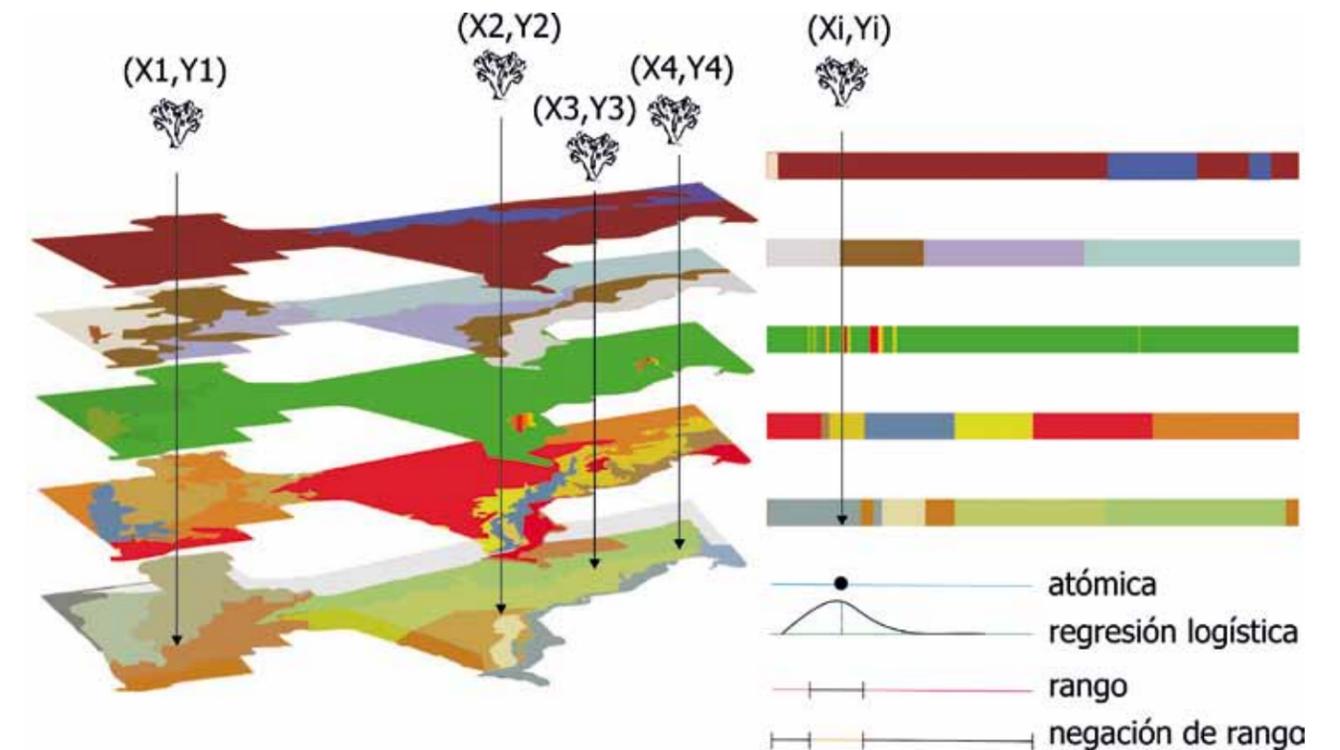
DesktopGarp es la versión de “escritorio” del algoritmo GARP. El acrónimo viene del inglés Genetic Algorithm for Rule-set Production (algoritmo genético basado en reglas). GARP es un algoritmo genético que crea un modelo de nicho ecológico para una especie o ambiente, que identifica las condiciones ambientales donde dicha especie sería capaz de mantener su población (coenoclina). GARP utiliza como entrada un conjunto de localidades (puntos) donde se sabe presente la especie y un grupo de coberturas geográficas que representan los parámetros ambientales que pueden, potencialmente, limitar la capacidad de sobrevivencia (gradientes) (Figura 14).

GARP trata de forma iterativa, de encontrar las correlaciones entre la presencia de la especie con los parámetros ambientales del sitio de recolecta, utilizando reglas de probabilidad. Cada tipo de regla implementa un método para construir los modelos de predicción de la especie;

se reconocen cuatro tipos: atómica, regresión logística, rango y negación de rango (Stockwell *et al.* 1992).

El número de modelos generados (soluciones o iteraciones) es definido por el usuario y depende del número de especies, del número de experimentos y del número de combinaciones posibles entre reglas seleccionadas. La construcción del modelo permite, además, seleccionar una muestra aleatoria de puntos para validar su resultado; los restantes son utilizados para entrenar el modelo. Se reconocen dos errores posibles en los modelos de predicción: los falsos negativos (errores de omisión) y los falsos positivos (errores de comisión). La relativa proporción de estos errores se constituyen en una matriz de error (Anderson *et al.* 2003).

La representación de la estimación de la probabilidad de ocurrencia de los corales de profundidad puede ob-



**Figura 14.** Esquema de elementos que interactúan en DesktopGarp para la generación de modelos predictivos de distribución de especies o ambientes: puntos de recolecta, capas ambientales y reglas.

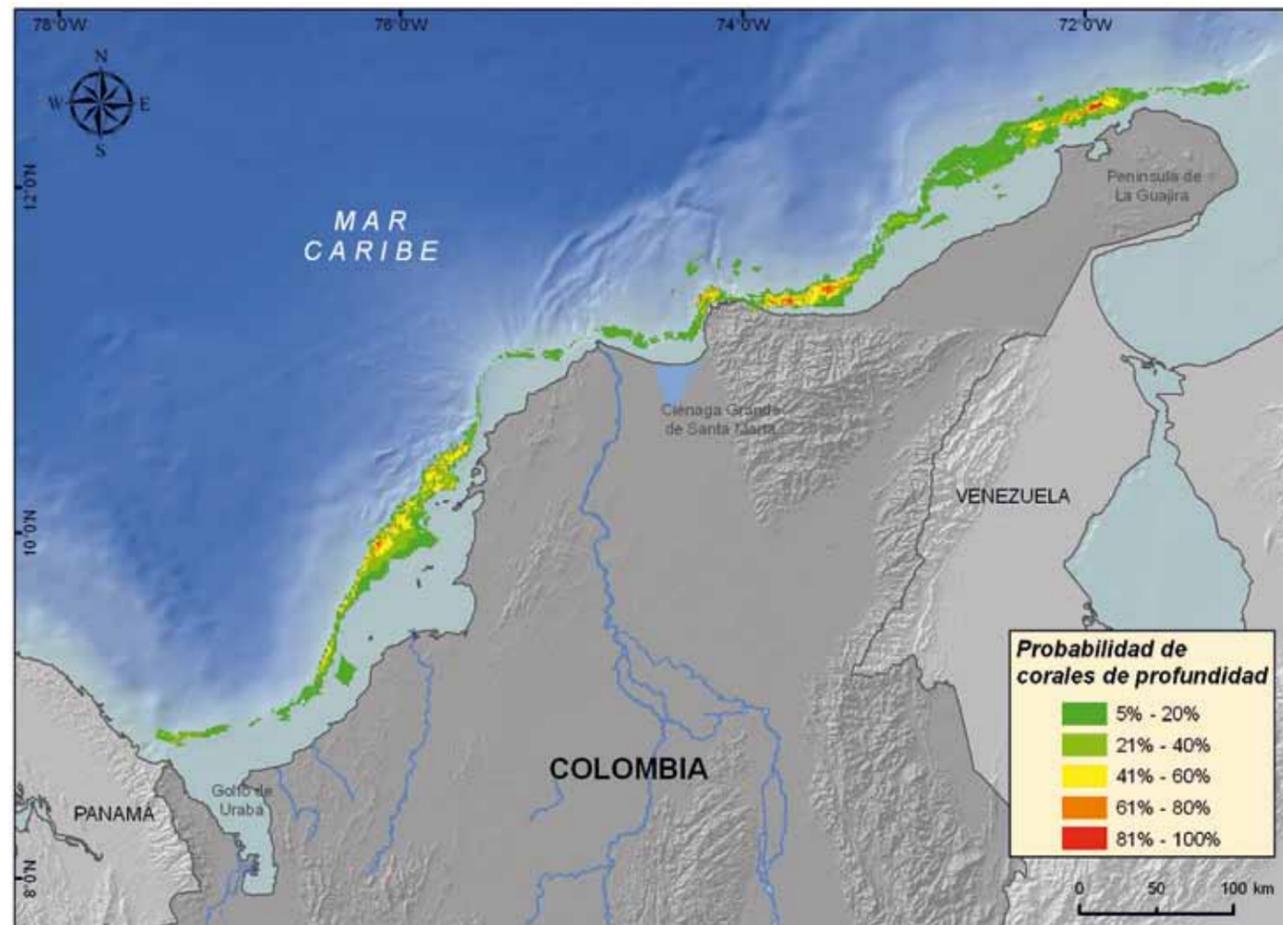


Figura 15. Mapa de estimación de la probabilidad de ocurrencia de corales de profundidad.

servarse en la Figura 15. Fue seleccionada a partir de la elección de los 30 mejores modelos de los 200 obtenidos, usando como criterio la matriz de error. Los valores expresados en términos porcentuales reflejan aquellas áreas que fueron seleccionados en un mayor número de experimentos, dando indicios de características ambientales muy similares a los puntos de recolecta y por ende una mayor probabilidad de distribución de estos ambientes, en comparación con áreas circundantes.

**Selección de áreas significativas para la biodiversidad**

La selección de áreas significativas para la biodiversidad –ASB–, se realiza a partir de la aplicación de la metodología de planificación ecorregional propuesta por Groves *et.al.* (2000) utilizada generalmente para am-

bientes terrestres y marinos someros (menos de a 170m de profundidad), que de manera general es igualmente aplicable al área marina del margen continental, siempre y cuando se guarden las proporciones en términos de escala de la información disponible que es requerida para el análisis.

De acuerdo al proceso metodológico presentado en la Figura 16, hay 6 pasos previos para llegar finalmente a obtener un portafolio de ASB. Entre estos pasos se encuentran además de la fase de recolección y manejo de información, la delimitación del área de estudio, selección de objetos de conservación –OdC–, establecimiento de metas de conservación, análisis de viabilidad en el tiempo de los elementos de conservación y selección de

ASB. Es claro, que para superar cada uno de ellos, las herramientas SIG son utilizadas ampliamente, convirtiéndose en el soporte para la integración de información y realización del análisis requerido

El paso de delimitación del área de estudio depende ampliamente del establecimiento de criterios temáticos, que con capas de información base como rangos de profundidad y límites fronterizos, permite generar una nueva capa que la representa. A pesar de ser uno de los pasos más sencillos a desarrollar con herramientas SIG, no es menos importante, pues traza los parámetros que orientan la búsqueda y recopilación de información secundaria.

Es entonces, la búsqueda y estructuración de la información base y temática relacionada, la actividad inicial para la construcción de un SIG, que dentro del esquema metodológico constituye la base esencial del proceso, pues provee los insumos para la realización del análisis espacial requerido en la identificación de las ASB.

Este análisis espacial es realizado haciendo uso de MARXAN (versión 1.8.2), herramienta tipo soporte de decisiones diseñada en Australia por Ball y Possingham (2000), que permite a través de algoritmos de optimización identificar áreas con mayor biodiversidad y menos amenazas, cumpliendo con requisitos fijados de antemano (metas de conservación). Las funciones de

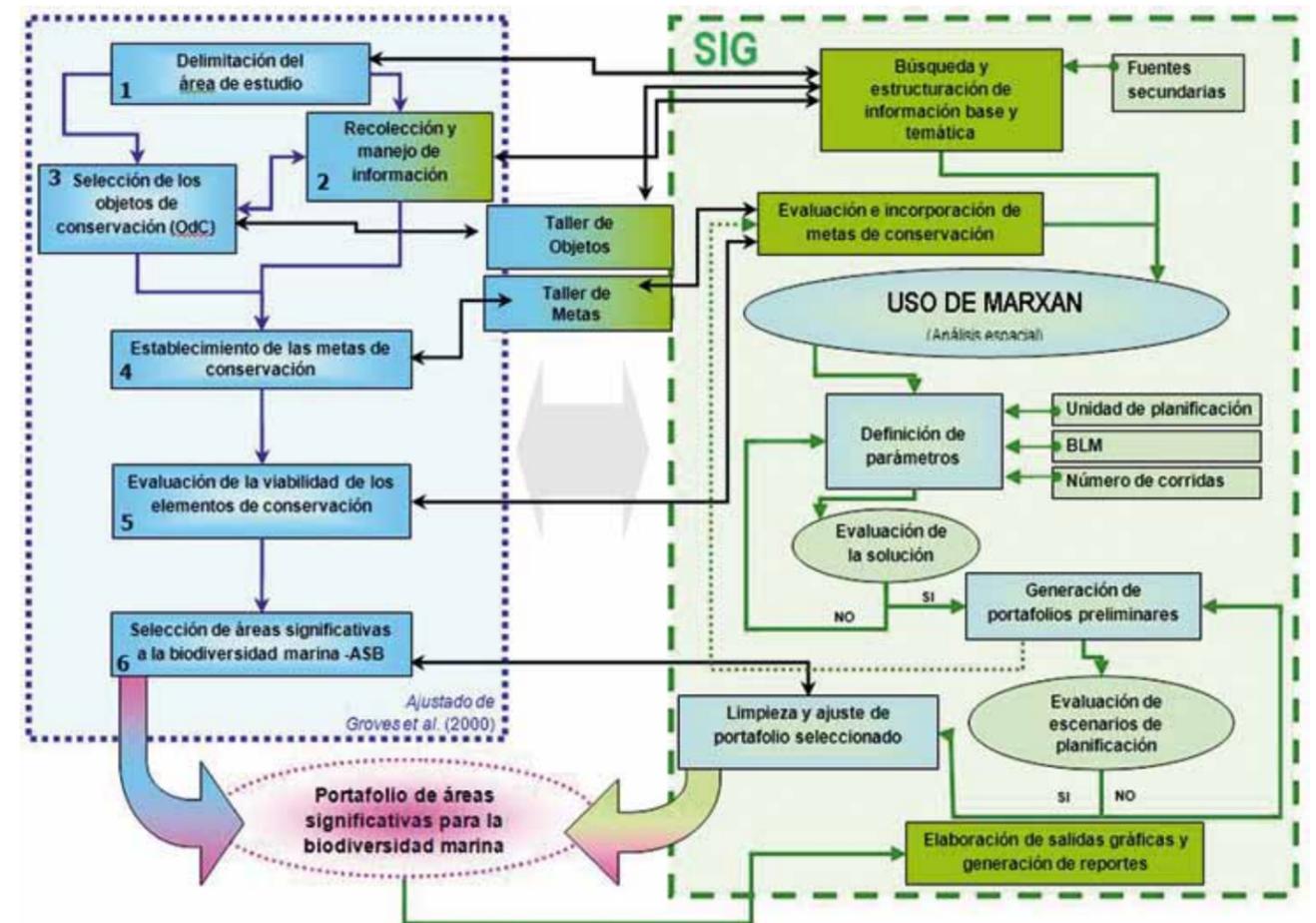


Figura 16. Proceso metodológico para la construcción del sistema de información geográfica –SIG como parte del proceso de planificación para la identificación de áreas significativas para la biodiversidad –ASB.

optimización son unas de las aplicaciones SIG más ampliamente utilizadas para la planificación ecorregional marina (Verfaillie *et al.* 2009).

Para hacer uso de esta herramienta deben tenerse listos ciertos insumos de información y cumplirse pasos tendientes a obtener como resultado principal soluciones diversas que serán insumo para que el tomador de decisiones defina un portafolio o conjunto de ASB. Los insumos responden a los planteados por el esquema conceptual: (1) presencia y distribución espacial de los OdC, (2) distribución de amenazas, ponderando un valor de acuerdo al impacto generado por la misma, (3) metas cuantitativas de conservación definidas para cada OdC y (4) una grilla de unidades de planificación que cubra toda el área de estudio y minimice el efecto de borde.

Los OdC, entendidos como elementos de diversidad biológica o sustitutos de esta que serán foco de los esfuerzos de planificación a diferentes niveles de organización biológica (sistemas, paisajes, hábitats, comunidades y especies) (Groves *et al.* 2000), pueden ser representados en diferentes geometrías como líneas, puntos, polígonos o en formato raster.

Para el caso del margen continental los OdC son los paisajes del fondo marino, catalogados como importantes sustitutos de biodiversidad a escala regional y utilizados ampliamente en la planificación de redes de áreas marinas protegidas –AMP– (Zacharias y Roff 2000). Estos son representados generalmente como polígonos o en formato raster, agregando así la dimensión espacial de la biodiversidad que mediante la selección acertada de sus sustitutos ha sido la base para el gran desarrollo que en el tema de planificación ecorregional ha tenido el País para su conservación *in situ* (Alonso *et al.* 2008).

Por su parte la representación espacial de la distribución de las amenazas, debe surtir ciertos pasos. El primero es definir cada una de las actividades presentes en el área

de estudio que ejercen presión sobre la biodiversidad y de estas seleccionar cuales y como pueden ser representadas geográficamente, líneas de cableado submarino o sitios de explotación de hidrocarburos (puntos), son algunos ejemplos. Posteriormente debe definirse cual es el impacto que ejerce cada una de ellas en términos de distancia, con el fin de establecer unos anillos (buffer) que representarán espacialmente el grado de afectación, asignando un número para su ponderación. Finalmente a través de un análisis de superposición se puede establecer el alto o bajo grado de impacto sobre los OdC, llevando a identificar cuales de estos objetos están menos amenazados y tienen mayor viabilidad de perdurar en el tiempo.

Para el establecimiento de las metas de conservación se deben definir atributos ecológicos clave de tamaño, condición y contexto paisajístico para cada objeto (Groves *et al.*, 2000), además de apoyarse en las herramientas ofrecidas por un SIG ya estructurado. Consultas a la base de datos geográfica y operaciones de superposición, sumadas al conocimiento experto de cada área específica, permite definir en términos porcentuales y de manera sistemática, cuanto de cada OdC debe ser conservado.

La definición de la forma y tamaño de cada unidad de análisis que conforma la grilla de unidades de planificación, debe estar sustentada de acuerdo a la escala de la información disponible. Si el tamaño definido es muy grande puede generalizar la información que contiene o en el caso contrario si es muy pequeño reportará la presencia de un solo OdC. Esto lleva en ambos casos a desaprovechar las potencialidades del análisis, que se basa en la mayor o menor presencia de objetos en cada unidad de análisis.

Una vez definida la grilla, la aplicación de operaciones de intersección entre las capas permiten definir la abundancia, que de acuerdo a la geometría de representación establece cuanto hay en cada unidad de planificación de

cada objeto o amenaza (área para polígonos, longitud para líneas o número de puntos de presencia).

Una vez listos los insumos se procede a hacer pruebas con MARXAN, con el fin de establecer los parámetros internos del programa (BLM, algoritmo a utilizar y número de corridas) que para cada área de estudio pueden variar significativamente. Se realiza entonces una calibración (ensayo y error) obteniendo un número determinado de soluciones a partir de las cuales los tomadores de decisión definen el portafolio final de ASB.

## SERVICIOS DE INFORMACIÓN SOBRE BIODIVERSIDAD MARINA DE COLOMBIA

La expansión de los recursos disponibles para la publicación de información en la web, y la amplia penetración de este medio en diferentes segmentos de la población,

hacen de este un canal propicio para la divulgación de la información sobre biodiversidad.

La aplicación extensiva de las TIC para la organización y divulgación de información ambiental es una estrategia fundamental para el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras –Invemar, el cual en conformidad a las funciones asignadas por el decreto 1600 de 1994, desarrolla e implementa el Sistema de Información Ambiental Marina de Colombia – SIAM, con la finalidad de entregar los instrumentos de acopio, análisis y gestión de la información ambiental y del uso de los recursos marinos y costeros de Colombia, como elementos de apoyo a la generación de conocimiento, a la toma de decisiones y a la gestión orientada al desarrollo sostenible en un entorno que favorezca la participación ciudadana (Invemar(a) 2009).

El armónico funcionamiento del SIAM requiere que a la par de los procesos de desarrollo de software se planteen y articulen políticas, normas, procedimientos y



Figura 17. Página de bienvenida al Sistema de Información Ambiental Marina -SIAM (<http://siam.invemar.org.co/siam/siam.htm>) (izquierda) y vista de la interface de acceso a los servicios disponibles (derecha).

**Tabla 3.** Servicios de datos prestados por el Sistema de Información Ambiental Marina de Colombia –SIAM.

Nombre de grupo	Servicio	Descripción
Biodiversidad marina	SIBM	Sistema de información sobre biodiversidad marina de Colombia: colección del Museo de Historia Natural Marina de Colombia, listados de especies y documentos relacionados.
	SISMAC	Sistema de soporte al monitoreo de las áreas coralinas.
	CCBM	Colección colombiana de bacterias marinas
Manejo integrado de zonas costeras	Políticas, planes, programas y publicaciones científicas relacionadas con el manejo integrado de zonas costeras	
Uso de recursos pesqueros	SIPEIN	Sistema de información pesquera de Invemar con datos pesquerías artesanales de la Ciénaga Grande de Santa Marta.
	REDCAM	Sistema de información de la red de monitoreo de calidad de las aguas marinas y estuarinas.
Monitoreo de ambientes marinos	ARGOS	Sistema de soporte multitemático para el monitoreo ambiental.
	SISMAC	Sistema de información global de los océanos (Colombia)
Amenazas naturales	Resultados de investigación sobre cambio climático de los mares y costas y erosión costera.	
Sistemas de información documental	Políticas, planes, programas y publicaciones científicas relacionadas con los temas ambientales marinos y costeros. Se encuentra acceso directo a: Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras, Centro de documentación “Iván Enrique Caycedo Lara”, buscador de conocimiento ambiental del SIAM, tutoriales y diccionario ambiental. Se encuentran también el catálogo de metadatos para conjuntos de datos digitales (imágenes satelitales, fotografía aérea y cartografía digital).	
	SISMAC	Sistema de soporte al monitoreo las áreas coralinas.
Servicios de información geográfica	Geoportal del SIAM	GEOVISOR con información integrada de los componentes de biodiversidad, calidad ambiental y uso de los recursos marinos en su contexto geográfico.
Portales temáticos	Información enfocada a temáticas de particular interés como cambio climático, divulgación de avances y/o resultados de proyectos de investigación para el fortalecimiento de la comunidad, académica y gobierno que tiene interés en el manejo integrado de las zonas costeras	

estándares, tendientes a reglamentar la gestión de información y a asegurar la privacidad y el respeto a los derechos patrimoniales y morales de los generadores de los datos. Por ejemplo, la implementación de estándares de intercambio permite actualmente a los usuarios acceder de manera transparente a información depositada en el SIAM desde redes de biodiversidad del nivel nacional como el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia -SIB, del nivel regional como la

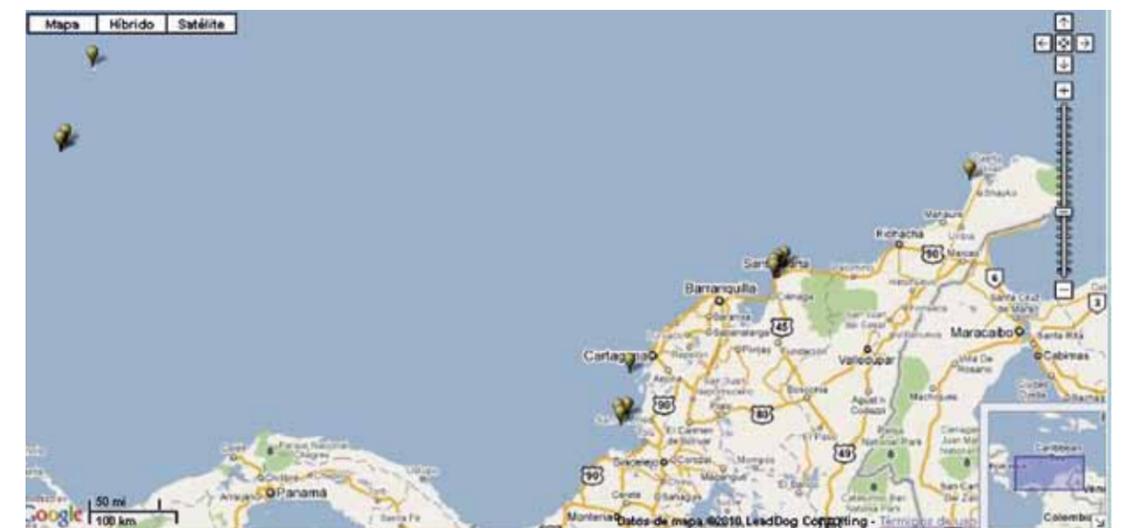
Red Interamericana sobre Biodiversidad -IABIN o global como el Sistema de Información Biogeográfica de los Océanos –OBIS.

En la Figura 17 se muestra la interfaz de acceso al Portal del SIAM en el que se encuentra su descripción conceptual y el estado de desarrollo. Adicionalmente una corta descripción de su objetivo en la Tabla 3 del acceso a los servicios que presta.

Los servicios de datos, que contienen información o análisis sobre biodiversidad para el área del margen continental, son el Sistema de Información en Biodiversidad Marina –SIBM y el portal temático desarrollado para los bloques de exploración de hidrocarburos en el Caribe colombiano, los cuales se describen a continuación.

### Sistema de Información de Biodiversidad Marina –SIBM

El SIBM, consta actualmente de tres componentes temáticos: el primero orientado a la taxonomía y sistemática que incluye formatos y procedimientos que permiten



**Figura 18.** Portal Sistema de Información de Biodiversidad Marina -SIBM, sección de consultas (<http://siam.invemar.org.co/siam/sibm/>).

administrar colecciones biológicas; el segundo organiza la información relacionada con los cultivos puros de especies de microorganismos aislados de la zona marino costera de Colombia a los que pruebas bioquímicas han identificado como potencialmente útiles para la biorremediación y el último obedece a los requerimientos relacionados con llevar el registro de cambios temporales y espaciales en la cobertura y salud de las áreas corallinas de Colombia, este componente es administrado por el grupo de investigación perteneciente al Sistema de Monitoreo de Áreas Arrecifales - SIMAC.

Operativamente el SIBM acopia los datos e información de manera colaborativa, utilizando para ello plantillas diseñadas en hojas de cálculo (Excel® Microsoft Office), en las que los investigadores digitan información sobre los registros biológicos de acuerdo a la evidencia que los sustenta, cargándose luego al Sistema utilizando una conexión a la web o enviándola por correo electrónico.

En este proceso, los datos son validados a la par que se organizan atendiendo la naturaleza de su actividad de origen y a condiciones de acceso y uso de la información, previamente establecidas entre los custodios de los datos (Invemar) y sus autores (investigadores Invemar o de otras instituciones).

Como servicios principales el SIBM permite consultar los registros biológicos en Colombia para los grupos biológicos marinos principales tales como peces, equinodermos, crustáceos decápodos, moluscos y corales, entre otros organismos (cerca de 83.673 registros biológicos disponibles al 2010). El usuario dispone de herramientas para filtrar la información, ver su distribución espacial y descargarla como hoja de cálculo o archivo de texto (Figura 18).

Entre los servicios suplementarios el SIBM entrega información detallada de cerca de 1500 especies, de las que se incluyen las características que las identifican, imágenes de apoyo, su distribución geográfica, hábitos

alimentarios y de reproducción, importancia comercial o biológica y en general toda aquella información documental enfocada a conocer la especie y a evaluar las políticas de gestión requeridas para el manejo sostenible de ese recurso en particular.

Al nivel de información agregada el SIBM ofrece listados de especies para los principales grupos taxonómicos, claves taxonómicas y genera de manera automática resúmenes estadísticos acerca de la composición en especies de las muestras recolectadas por un proyecto o de las existentes en una colección biológica. Estas consultas hacen posible llevar a cabo los productos y análisis descritos en capítulos anteriores de este libro.

El SIBM se ha consolidado como una fuente confiable de información sobre las especies marinas en aspectos requeridos por la gestión ambiental marina tales como, el control del comercio de especies, la administración de áreas para la conservación de hábitat y el manejo sostenible de explotación de recursos vivos, entre otros.

### Biodiversidad marina en los bloques de exploración de hidrocarburos

El portal Web fue implementado en el marco del proyecto *Especies, ensamblajes y paisajes de los bloques marinos sujetos a exploración de hidrocarburos* en su segunda fase, desarrollado por la Agencia Nacional de Hidrocarburos –ANH e Invemar. Es un instrumento de integración de conocimiento diseñado con el propósito de brindar elementos importantes que permitan tomar decisiones, bajo los principios de precaución y responsabilidad ambiental, a todas aquellas empresas e instituciones relacionadas con el estudio de la biodiversidad del margen continental, especialmente en las áreas de exploración de hidrocarburos (Figura 19).

Cuenta con información documental relacionada con el análisis geomorfológico y sedimentológico, análisis

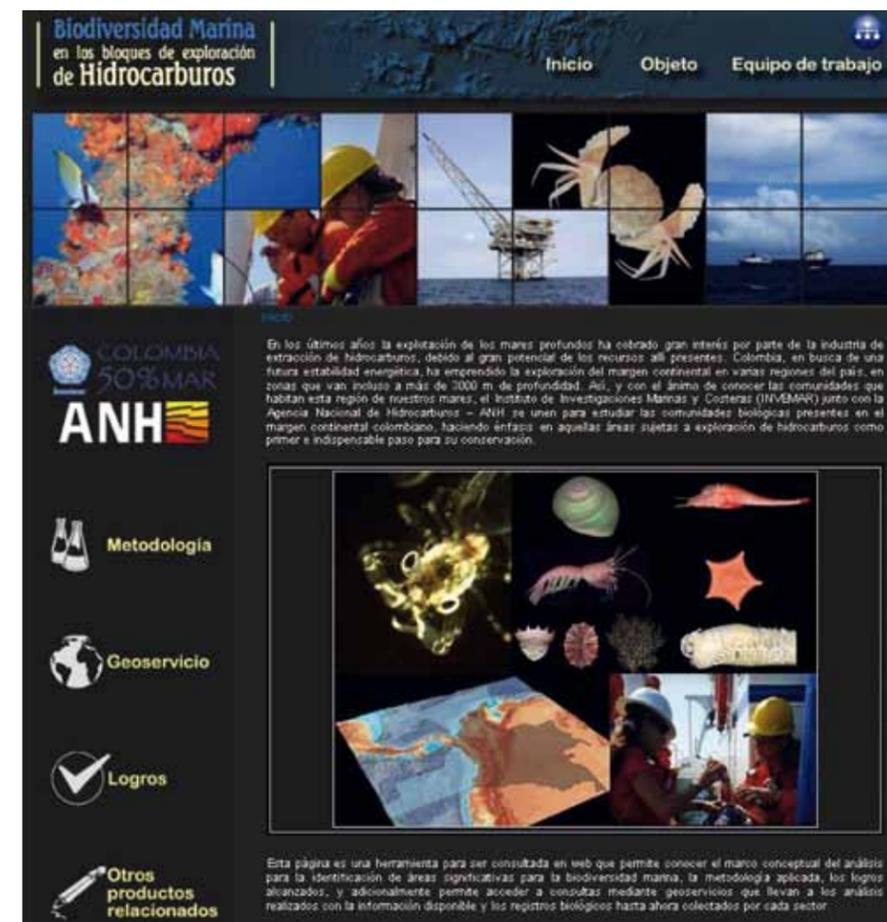


Figura 19. Portal de biodiversidad marina en los bloques de exploración. Acceso en: <http://cinto.invemar.org.co/anh>

oceanográfico, análisis biológico, modelación ecológica y definición de áreas significativas para la biodiversidad marina en los bloques de exploración de hidrocarburos. Disponiendo diferentes documentos descargables relacionados al análisis de biodiversidad en el margen continental entre los que se encuentran informes técnicos y publicaciones científicas.

Adicionalmente a la documentación metodológica, los logros alcanzados y las referencias bibliográficas le permiten al usuario evaluar el alcance, naturaleza, y significado de los productos de información presentados.

Una de las características más importantes de este portal es que brinda la posibilidad de visualizar y consul-

tar el conjunto de datos geográficos, desde un entorno gráfico amigable por medio del "Geovisor" (Figura 20). Este cuenta con información base facilitada con un propósito estrictamente informativo que busca brindar elementos de juicio y referencia a las capas temáticas, estas por su parte son insumos directos para diversos análisis (Tabla 4).

Una de las características más importantes del Geovisor es que permite la conexión con la base de registros biológicos del SIBM, permitiendo realizar consultas por especie y relacionar estos registros con la demás información disponible en esta página. Por medio de este tipo de consultas es posible establecer un enlace directo para revisar los registros biológicos de la especie consul-



Figura 20. Geovisor Biodiversidad Marina en los bloques de Exploración de Hidrocarburos.

Tabla 4. Listado de Información base y temática disponible en el geovisor del portal de biodiversidad marina en los bloques de exploración.

Información base	
División política departamental, cuerpos de agua, nombre de sitios clave, centros poblados y límites territoriales.	
Información temática	
Actividad industrial	Límite de áreas de exploración y producción de hidrocarburos (fuente ANH)
Geomorfología y sedimentología	Facies sedimentarias de plataforma continental, geomorfología a escala 1:100.000 para una porción de algunos bloques de exploración, formas del fondo marino generada a partir de la metodología Benthic Terrain Modeler- BTM.
Oceanografía	Contenido de nitratos, fosfatos, oxígeno, silicatos, salinidad y temperatura del agua adyacente al fondo marino e información sobre corrientes marinas, altura de olas, temperatura y salinidad a nivel superficial (Fuente principal: World Ocean Atlas 2005 -WOA05 de National Oceanographic Data Centre -NODC de la NOAA y General Bathymetric Chart of the Oceans- GEBCO elaborado por British Oceanographic Data Centre.
Biodiversidad	Capas relacionadas con la distribución espacial de riqueza para los grupos taxonómicos grandes de organismos marinos como equinodermos, moluscos, crustáceos, corales, anémonas, peces, tiburones y rayas. También contiene información sobre lugares donde se han registrado especies que se distinguen por ser susceptibles de explotación, por estar en lista roja (cites), por poseer potencial de bioprospección o por estar ubicadas dentro del grupo de especies de distribución restringida en Colombia (Fuente: consultas al Sistema de Información de Biodiversidad Marina de Colombia -SIBM y conocimiento y experiencia de expertos nacionales). Mapas de probabilidad de ambientes reductores y corales de profundidad, resultado de la modelación con el algoritmo GARP, mencionado anteriormente.
Áreas Significativas para la Biodiversidad	Capas correspondientes a objetos de conservación -OdC y capa de áreas significativas para la biodiversidad para el área del margen continental en el Caribe colombiano,



Figura 21. Consulta registros de *Astropecten aligator* en el SIBM a partir del Geovisor ANH.

tada, pudiendo acceder a la ficha de registro y detalles de la especie, como se aprecia en la Figura 21. Adicionalmente puede trazar sobre la pantalla un área específica de interés obteniendo estos mismos resultados.

Otra herramienta clave es el servicio WMS (del inglés Web Map Service) el cual le permite a un usuario desde un escritorio remoto conectarse al conjunto de datos geográficos, con la ayuda de un programa de SIG. Este proceso permite superponer visualmente los datos con las capas propias del usuario o con otros servicios cartográficos. Se puede acceder al servicio WMS de este estudio a través del siguiente enlace: <http://gis/ArcGIS/services/ANH2tematico/MapServer/WMSserver>.

## PERSPECTIVAS FUTURAS

La dinámica de crecimiento de las tecnologías de la información propicia no solo el almacenamiento de grandes volúmenes de datos sino la incorporación en los sistemas de información de servicios de más alto valor agregado para los usuarios. En este contexto el mejor provecho de la información depende sustancialmente del cuidado con que se documenten los conjuntos de datos primarios y de aplicar estrategias que permitan aprovechar la creciente oferta de servicios para la web en entornos controlados. Desde esta perspectiva el vincularse a iniciativas de redes de información sobre biodiversidad como el SIBM, le permite a los investigadores concentrarse en los requerimientos propios de su especialidad y dejar en manos de los custodios de la información las actividades que tienen que ver con la seguridad de los datos y la renovación tecnológica en los frentes tanto de software como de hardware.

Las metas a cumplir para inventariar y dimensionar adecuadamente la biodiversidad marina de Colombia son ambiciosas y se requerirá aun de varios años de esfuerzo sostenido. Esta dinámica a su vez, impulsa el desarrollo e incorporación de tecnologías y servicios que de manera acorde permitirán el mejor aprovechamiento de la información recopilada como un aporte sustancial al manejo responsable de nuestros recursos marinos vivos.

La consolidación de una cultura colaborativa en el marco de la investigación ambiental marina comienza a mostrar buenos resultados a nivel mundial (MGDS 2010), es posible adelantarse a vislumbrar una comunidad científica en Colombia generando y difundiendo datos e información documental en web, e implementando nuevas tecnologías con mayor capacidad de análisis.

Con el fin último de proteger, conservar o preservar la diversidad, se plantea entonces uno de los principales retos para la comunidad científica, incluyendo no solo

investigadores con formación en ciencias naturales si no también a diversos perfiles, para que como grupos interdisciplinarios adquieran las destrezas necesarias para el manejo de herramientas de información. Asumirlo, llevará directamente a potencializar el uso de los datos disponibles bajo una estructura de modelo integrado generando soluciones básicas, complejas y novedosas para entender la composición de especies, los cambios observados en estas e incorporar la complejidad de su ambiente.

Las TIC por su naturaleza misma están orientadas a crear y fortalecer vínculos entre usuarios y disciplinas del conocimiento, a la par la cada vez mayor penetración de las mismas en todos los ámbitos estimula el desarrollo de destrezas en el manejo de herramientas de software. Es de esperar como resultado, un mejor aprovechamiento de los recursos de información disponibles, lo que para el caso particular de la biodiversidad significará el desarrollo de modelos y paradigmas que permitan una mejor comprensión de los fenómenos biológicos que la sustentan con miras a su mejor aprovechamiento y conservación.

## CONCLUSIONES

Existe un importante número de BD y SI de información especializados en gestión de datos sobre biodiversidad con acceso por medio de la Internet. Es de prever que como en otros campos del conocimiento la calidad de estos servicios y la riqueza de las fuentes de datos seguirá aumentando. Por lo cual, la evaluación de los recursos disponibles y la selección de los más apropiados a utilizar en el contexto de un proyecto de investigación debe ser una de las tareas principales a considerar durante la fase de planteamiento del mismo.

Por su parte, los proveedores de servicios de información sobre biodiversidad además de enfocarse en proveer datos a la comunidad científica, especializada y

público en general, deben garantizar que los productos que suministran tengan el rigor científico, calidad, validez y precisión esperadas, a la vez que incorporen políticas y estándares que permitan la interoperabilidad entre los sistemas y la eficiencia en su uso.

Determinar la distribución espacial de las especies es una tarea que demanda considerables esfuerzos y resulta aún más compleja cuando se trata de hacerlo para los fondos marinos. Las herramientas de software especializadas que incorporan SIG ofrecen en estos casos la oportunidad de construir modelos científicamente válidos. Este es un campo abierto para la investigación científica con amplias posibilidades de arrojar resultados de interés tanto académico como para la amplia gama de actividades económicas que se ejecutan en este tipo de ambientes.

La realización de análisis que integren espacialmente datos biológicos, sociales y económicos, enfocados a dar alternativas prácticas a los tomadores de decisiones son requeridos ampliamente. Pues estos permiten mejorar la gestión y el manejo de las áreas marinas, con el fin último de conservar y mantener de mejor manera la biodiversidad, minimizando los impactos de las actividades humanas. El proceso de análisis realizado para la identificación de áreas significativas para la biodiversidad, es un ejemplo específico, convirtiéndose en el punto de partida para concentrar los futuros esfuerzos de investigación, manejo y conservación de los espacios marinos identificados y así garantizar la representatividad de la biodiversidad y su preservación en el tiempo.

Es evidente el gran esfuerzo que requiere la generación de datos e información de calidad para el área del margen continental, incluso para temas altamente específicos como la exploración de hidrocarburos. Es por esto, que deben ser aunados esfuerzos, con el ánimo de capturar, analizar y generar nueva información, optimizando los recursos invertidos.

Iniciativas ya consolidadas o en desarrollo como el SIBM, pueden ser excelentes alternativas para instituciones o investigadores que no cuentan con la infraestructura o capacidad técnica instalada para crear y mantener sistemas propios.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT por su apoyo en la financiación del Sistema Información Ambiental Marina de Colombia - SIAM y a la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) de Colombia por el apoyo y financiación del proyecto “Especies, ensamblajes y paisajes de los bloques marinos sujetos a exploración de hidrocarburos”; proyectos en los que se desarrollaron las presentes experiencias. A los investigadores del Invemar de las diferentes especialidades porque en realidad estas herramientas les pertenecen y por la generación de datos primarios, su valiosa asesoría y colaboración porque sin ellos y sus requerimientos y necesidades estas tecnologías de información no tendrían un objetivo. A todos los investigadores que han pertenecido al Laboratorio Sistemas de Información -LabSIS. Y finalmente a los directivos quienes sin su gestión no se hubieran generado los proyectos que financiaron estas herramientas tecnológicas.

## REFERENCIAS

- Aboulnaga A., K. Salem, A. Sórór, U.F. Minhas, P. Kokosielis y S. Kamath. 2009. Deploying Database Appliances in the cloud. *Bulletin of the IEEE Computer Society Technical Committee on Data Engineering*, 32(1):13-20.
- ABRS Australian Biological Resources Study. 2007. PLATYPUS. Recuperado el 10 de mayo de 2010, del sitio Web de Australia Government. Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts: <http://www.environment.gov.au/>
- Albrecht J. 2004. Universal analytical GIS operations, a task-oriented systematization of data structure-independent GIS

functionality. *Geographic Information Research: transatlantic perspectives*. 577-591 p.

- Al-Hamdani Z. y J. Reker (Eds.). 2007. Towards Marine Landscapes in the Baltic Sea. BALANCE interim report #10. 117 p. Recuperado el 1 de Mayo de 2010, del sitio de Balance: <http://balance-eu.org/xpdf/balance-interim-report-no-10.pdf>.
- Alonso D., Ramírez, L., Segura-Quintero, C., Castillo-Torres, P., Diaz, J.M. y T. Walschburger. 2008. Prioridades de conservación in situ para la biodiversidad marina y costera de la plataforma continental del Caribe y Pacífico colombiano. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras Invemar, The Nature Conservancy -TNC y Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales-UAESPNN. Santa Marta, Colombia, 20p.
- Anderson R.P., D. Lewc y A.T. Peterson. 2003. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*, 164: 211-232.
- Andrade-Colmenares N. y J. Escobar. 2002. *Ocean and coastal issues and policy responses in the Caribbean*. *Ocean & Coastal Management*, 45(11):905-924.
- Ball I. y H. Possingham, Marxan (v1.8.2). Marine Reserve Design using Spatially Explicit Annealing. 2000: Queensland, Australia. 70 p.
- Barrett N., G. Edgar, M. Lawler y V. Halley. 2007. A quantitative video baseline survey of reef biota and survey of marine habitats within Bathurst Channel, Southwest Tasmania 2002. Technical Report. Marine Research Laboratories, TAFI, Tasmania, Australia. 55p.
- Bernhardsen T. 2002. Geographic Information Systems, An Introduction. Tercera Edición. Jhon Wiley & Sons. Nueva York. 425p.
- Bisby F.A., Y.R. Roskov, T.M. Orrell, D. Nicolson, L.E. Paglinawan, N. Bailly, P.M. Kirk, T. Bourgoin y G. Baillargeon eds. 2010. Species 2000 & ITIS Catalogue of Life: 2010 Annual Checklist. Recurso digital en: <http://www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2010>. Species 2000: Reading, UK.
- Burrough P.A. y R.A. McDonnell. 1998. Principles of Geographical Information Systems. Segunda edición. Oxford University Press, Oxford. 299 p.
- Cogan C.B., B.J. Todd, P. Lawton y T.T. Noji. 2009. The role of marine habitat mapping in ecosystem - based management. *ICES Journal of Marine Science*, 66: 2033-2042.
- Connor D.W., P.M. Gilliland, N. Golding, P. Robinson, D. Todd y E. Verling. 2006. UKSeaMap: the mapping of seabed and water column features of UK Seas. Joint Nature Conservation Committee -JNCC, Peterborough. 80p + anexos.

- Day J.C. y J.C. Roff. 2000. Planning for Representative Marine Protected Areas: A Framework for Canada's Oceans. Report prepared for World Wildlife Fund Canada, Toronto. 148 p.
- De By, R.A., R.A. Knippers, Y. Sun, M.C. Elis, M. Kraak, M.J. Weir, Y. Georgiadou, M. Radwan, C.J. Van Westen, W. Kainz, E.J. Sides. 2001. Principles of Geographical Information Systems. An introductory textbook. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences -ITC. Enschede, Netherlands. 234p.
- Degraer S., E. Verfaillie, W. Willems, E. Adriaens, y M. Vincx. 2008. Habitat suitability modelling as a mapping tool for macrobenthic communities: An example from the Belgian part of the North Sea. *Continental Shelf Research*, 28(3): 369-379.
- DesktopGarp. 2002. Recuperado el 20 de Febrero de 2005, del sitio web The University of Kansas Center for Research: <http://www.nhm.ku.edu/desktopgarp/>
- Díaz J.M. y A. Acero. 2003. Marine biodiversity in Colombia: Achievements, status of knowledge and challenges. *Gayana*, 67(2):261-274.
- Elangovan K. 2006. GIS: Fundamentals, Applications and Implementations. New India Publishing Agency. New Delhi. 208 p.
- Elmasri R. y S.B. Navathe. 2000. Sistemas de bases de datos. Conceptos fundamentales 2ª Edición. Pearson Addison-Wesley. 887 p.
- Engle V. y J.K. Summers. 1998. Determining the causes of benthic condition. *Environmental monitoring and assessment*, 51: 381-397.
- Finkbeiner M., B. Stevenson y R. Seaman. 2001. Guidance for Benthic Habitat Mapping: An Aerial Photographic Approach. NOAA/National Ocean Service/Coastal Services Center (NOAA/CSC/20117-PUB). Charleston, SC. 75p.
- GEBCO. 2010. General Bathymetric Chart of the Oceans -GEBCO. British Oceanographic Data Centre. Recuperado el 14 de mayo de 2010 de <http://www.bodc.ac.uk/data/>
- Gogina M., M. Glockzin y M.L. Zettler. 2010. Distribution of benthic macrofaunal communities in the western Baltic Sea with regard to near-bottom environmental parameters. 2. Modelling and prediction. *Journal of Marine Systems*, 80(1-2):57-70.
- González M. 2003. Desarrollo de herramientas de información y productividad científica en habla hispana a través de la red. Recuperado el 19 de abril de 2010, del sitios Web del Instituto Cervantes Online Educa Madrid, en: <http://e-spacio.uned.es/fez/view.php?id=bibliuned:1500>
- Groves C. B., L. Valutis, D. Vosick, B. Neely, K. Wheaton, J. Touval y B. Runnels. 2000. Diseño de una geografía de la esperanza: manual para la planificación de la conservación ecorregional. The Nature Conservancy, Vol. I y II. 2ª Edición. Arlington, EE.UU. 215p.
- Guiry M.D. y G.M. Guiry. 2010. AlgaeBase. World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway. Consultado el 21 de Junio de 2010 en: <http://www.algaebase.org>
- Ideam, IGAC, IAvH, Invemar, Sinchi, IIAP. 2007. Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales -Ideam, Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt -IAvH, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann -IIAP, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés -Invemar, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas -Sinchi. Bogotá D.C. 276p mapas 37 planchas + 1 CD-ROM.
- Invemar(a). 2009. Sistema de Información Ambiental Marina de Colombia -SIAM. Recuperado el 10 de mayo de 2010 del sitio web del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras -Invemar, en: <http://siam.invemar.org.co/>
- Invemar(b). 2009. Sistema de Información de Biodiversidad Marina de Colombia -SIBM. Recuperado el 10 de Mayo, 2010 del sitio web del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras -Invemar, en: <http://siam.invemar.org.co/siam/sibm/index.htm>
- ITIS. 2009. Integrated Taxonomic Information System -IT IS: Taxonomic Workbench. Recuperado el 10 de mayo de 2010, de <http://www.itis.gov/twb.html>
- Jorgensen S.E. y G. Bendoricchio (Eds). 2001. Fundamentals of Ecological Modeling, 3ª Edición. Elsevier. Amsterdam. 530 p.
- Longley P.A., M.F. Goodchild, D.J. Maguire y D.W. Rhind. 2005. Geographic information systems and science. Segunda edición. Jhon Wiley & Sons. Inglaterra. 517 p.
- Lundblad E., D.J. Wright, J. Miller, E.M. Larkin, R. Rinehart, D.F. Naar, B.T. Donahue, S.M. Anderson y T. Battista. 2006. A Benthic Terrain Classification Scheme for American Samoa. *Marine Geodesy* 29(2):89-111.
- MESH. 2008. Guide to Marine Habitat Mapping. Recuperado el 18 de mayo de 2010, del sitio Web de Mapping European Seabed Habitats -MESH: <http://www.searchmesh.net/>
- MGDS. 2010. Marine Geoscience Data System -MGDS: Virtual Ocean. Recuperado el 20 de Mayo 2010 del sitio: <http://virtualocean.org/>
- Moore C. y E. Rugullies. 2005. The Information Workplace Will Redefine The World Of Work At Last!. Forrester Research, Inc. 22 p. Recuperado de <http://nuevosmedios.files.wordpress.com/2008/03/rep-the-information-workplace-will-define-the-world-of-work-forrester-2005.pdf>
- Nevala A.E. y L. Lippsett. 2009 A new deep-sea robot called Sentry completes first mission. Recuperado el 3 de Mayo de 2010 del sitio web The Free Library: [http://www.thefreelibrary.com/A new deep-sea robot called Sentry completes first mission-a0210440311](http://www.thefreelibrary.com/A+new+deep-sea+robot+called+Sentry+completes+first+mission-a0210440311) accessed
- NIH-NSF. 2002. Program description NSF-02-109: National Institute of Health and National Science Foundation Bioengineering and Bioinformatics Summer Institutes Program -BBSI. Recuperado el 5 de Mayo de 2010 del sitio web de The National Science Foundation, en: <http://www.nsf.gov/pubs/2002/nsf02109/nsf02109.htm>
- O'Dor, R. 2004. A Census of Marine Life. *BioScience*, 54(2): 92-93.
- Parks B. 1993. The Need for Integration. En: Goodchild M., B. Parks y L. Steyaert (Eds). Environmental Modelling with GIS. New York, Oxford University Press. 488 p.
- Ramírez-González A. 1999. Ecología aplicada. Diseño y análisis estadístico. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Cargraphics S.A. Bogotá. 325 p.
- Reyes J., N. Santodomingo, A. Gracia, G. Borrero-Pérez, G. Navas, L.M. Mejía-Ladino, A. Bermúdez y M. Benavides. 2005. Southern Caribbean azooxanthellate coral communities off Colombia. 309- 330. En: Freiwald, A. y J.M. Roberts (Eds.). Coldwater Corals and Ecosystems. Springer Verlag, Berlin Heidelberg. 1243p.
- Roff J.C. y M.E. Taylor. 2000. National frameworks for marine conservation - a hierarchical geophysical approach. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 10(3):209-223.
- Santodomingo N., J. Reyes, A. Gracia, A. Martínez, G. Ojeda y C. García. 2007. Azooxanthellate Madracis coral communities off San Bernardo and Rosario Islands (Colombian Caribbean). *Bulletin of Marine Science*, 82(3):273-287.
- Schwehr K., M.D. Plumlee, B.M. Sullivan, C. Ware. 2008. GeoCoastPilot - Linking the Coast Pilot with Geo-referenced Imagery and Chart Information. 5th International Shallow Water Survey Conference -SWS. Durham, NH, USA. Recuperado el 1 de Junio de 2010, del sitio web de Center for Coastal and Ocean Mapping Joint Hydrographic Center: [http://ccom.unh.edu/index.php?page=research/chart\\_of\\_the\\_future.php](http://ccom.unh.edu/index.php?page=research/chart_of_the_future.php)
- Senn J.A. 1990. Análisis y Diseño de Sistemas de Información. 2ª Edición. México. Editorial Mc Graw Hill.
- Stair R. y G. Reynolds. 2009. Principles of Information Systems: A Managerial Approach. 9ª Edición. Course Technology. CENGAGE Learning. 658p.
- Stockwell D.R.B. y Noble I.R. 1992. Induction of sets of rules from animal distribution data - a robust and informative method of data-analysis. *Mathematics and Computers in Simulation* 33(5-6):385-390.
- Tomlinson R.F. 2007. Thinking About GIS: Geographic Information System Planning for Managers. 3ª Edición. ESRI Press. 238p.
- Trew C. y J. Harding (Eds). 2009. CENSUS OF MARINE LIFE. 2007/2008 Highlights Report. Census of Marine Life's Education and Outreach Team. University of Rhode Island. Recuperado el 04 Mayo de 2010 de [http://www.coml.org/press-releases/highlights08/coml\\_highlightsReport08-sm.pdf](http://www.coml.org/press-releases/highlights08/coml_highlightsReport08-sm.pdf)
- UIT Unión Internacional de Telecomunicaciones. 2006. Cumbre Mundial sobre la Sociedad de la Información Documentos Finales Ginebra 2003 -Túnez 2005. Ginebra, Suiza.
- UNEP. 1994. Convention on biological diversity -CDB. Text and annexes. Gland, Switzerland.
- University of Kansas. 2009. SPECIFY Biodiversity Collection Software. Recuperado el 10 de mayo de 2010, del sitio Web de Biodiversity Research Center, University of Kansas de: <http://specify5.specifysoftware.org/>
- Valdecasas A.G. y A.I. Camacho. 2003. Conservation to the rescue of taxonomy. *Biodiversity and Conservation*, 12:1113-1117.
- Verfaillie E., S. Degraer, K. Schelfaut, W. Wouter y V. Van Lancker. 2009. A protocol for classifying ecologically relevant marine zones, a statistical approach. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 832:175-185.
- Vogiatzakis I.N. 2003. GIS-based Modelling and Ecology: A Review of Tools and Methods. Geographical Paper No. 170. Department of Geography, The University of Reading, Whiteknights. 34 p.
- Weber T.C., H. Pena, J.M. Jech. 2009. Consecutive Acoustic Observations of an Atlantic Herring School in the Northwest Atlantic. *ICES Journal of Marine Science*, 66:1270 - 1277.
- Wheeler Q.D., P.H. Raven y E.O. Wilson, 2004. Taxonomy: impediment or expedient. *Science*, 303: 285.
- Wright D.J., E.R. Lundblad, E.M. Larkin, R.W. Rinehart, J. Murphy, L. Cary-Kothera y K. Draganov. 2005. Benthic Terrain Modeler -BTM extension for ArcGIS 8.x/9.x, (version 1.0). Corvallis, Oregon, USA. Department of Geosciences - Oregon State University, Davey Jones Locker Seafloor Mapping/Marine GIS Laboratory y NOAA Coastal Services Center. Recuperado en 2008 del sitio Web:<http://www.csc.noaa.gov/products/btm/>
- Zacharias M.A. y J.C. Roff. 2000. A hierarchical ecological approach to conserving marine biodiversity. *Conservation Biology*, 14: 1327-1334.

