

**CORALES DE PROFUNDIDAD: CRITERIOS BIOLÓGICOS PARA LA CONFORMACIÓN DE
ÁREAS MARINAS PROTEGIDAS DEL MARGEN CONTINENTAL (100-300 m), CARIBE
COLOMBIANO**

JUAN DIEGO URRIAGO SUÁREZ

**UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE BIOLOGÍA MARINA
SANTA MARTA**

2006

**CORALES DE PROFUNDIDAD: CRITERIOS BIOLÓGICOS PARA LA CONFORMACIÓN DE
ÁREAS MARINAS PROTEGIDAS DEL MARGEN CONTINENTAL (100-300 m), CARIBE
COLOMBIANO**

JUAN DIEGO URRIAGO SUÁREZ

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para
optar al título de Biólogo Marino**

Directora

NADIEZHDA SANTODOMINGO AGUILAR

Bióloga - Investigadora Asistente

Museo de Historia Natural Marina de Colombia

Asesores

JAVIER ORLANDO REYES FORERO

***MSc* Biología Marina - Investigador Adjunto**

Museo Historia Natural Marina de Colombia

MARTHA PATRICIA VIDES CASADO

***MSc* Geo-Information Science and Earth Observation**

Investigadora Asistente - Gestión en Zonas Costeras

UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO

FACULTAD DE BIOLOGÍA MARINA

SANTA MARTA

2006

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICADO A,

**MI HERMOSA FAMILIA
y a ustedes apreciados lectores**

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo económico del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR) y al Instituto Colombiano de Ciencia y Tecnología Francisco José de Caldas (COLCIENCIAS) en el marco del proyecto "Biodiversidad de las comunidades del margen continental colombiano. Fase 1. Comunidades coralinas de profundidad (100 – 300 m), criterios biológicos y geofísicos para la definición del Área Marina Protegida de Islas del Rosario - San Bernardo" código 2115-09-16649.

A cada una de las personas que me colaboraron durante el proceso de elaboración de este documento, entre ellas a todos los integrantes del Museo de Historia Natural Marina de Colombia y al Laboratorio de Sistema de Información del INVEMAR, por prestar sus servicios para la elaboración de los mapas. A los investigadores CAROLINA GARCIA, DANIEL ROZO, ADRIANA GRACIA, DAVID ALONSO y a las personas que trabajaron en los proyectos de MACROFAUNA I y II código 210509-10401 y 210509-11248. Y a la Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Especialmente a mi papá DARIO URRIAGO, mi mamá CECILIA SUÁREZ, mi abuelita RUTH TORRES y a mi familia, porque gracias a su apoyo he realizado mis sueños. A mi directora NADIEZHDA SANTODOMINGO que creyó en mí, y puso mucho de sí para que todo saliera adelante. A mis asesores JAVIER REYES y MARTHA VIDES, por dedicarme su valioso tiempo en la optimización del documento. A mis amigos por acompañarme, entenderme y hacerme sonreír, en especial a ANDREA POLANCO y a JULIO QUINTERO por ser quien es.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	6
1.2. OBJETIVOS	6
1.2.1. Objetivo principal	7
1.2.2. Objetivos específicos	7
1.3. MARCO TEÓRICO	7
1.3.1. Conceptos generales	7
1.3.2. Áreas marinas protegidas	10
1.3.3. Objetos de conservación	13
1.3.4. Predicción Espacial	13
1.3.5. Criterios biológicos	15
2. ÁREA DE ESTUDIO	18
3. METODOLOGÍA	21
3.1. RECOLECCIÓN DE DATOS DE DIVERSIDAD	21
3.1.1. Información secundaria	21
3.1.2. Información primaria	25
3.2. OBJETOS DE CONSERVACIÓN	25
3.3. GENETIC ALGORITHM FOR RULE-SET PREDICTION (GARP)	26
3.3.1. Coberturas	27
3.4. DEFINICIÓN DE CRITERIOS PARA ÁREAS MARINAS PROTEGIDAS	30
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	31
4.1. DIVERSIDAD	31
4.1.1. Análisis de clasificación y ordenación	35
4.2. OBJETOS DE CONSERVACIÓN	38
4.3. PREDICCIÓN ESPACIAL (GARP)	39
4.3.1. Batimetría	39
4.3.2. Pendiente	40

4.3.3. Rugosidad	40
4.3.4. Textura	40
4.3.5. Geomorfología	40
4.3.6. Sedimentos	40
4.4. PREDICCIÓN FINAL	49
4.5. CRITERIOS BIOLÓGICOS	52
5. CONCLUSIONES	60
6. RECOMENDACIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXOS	74

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Contraste entre los corales azooxantelados y zooxantelados.	9
Tabla 2. Elementos de la matriz de confusión.	14
Tabla 3. Eficiencia del modelo de predicción GARP.	15
Tabla 4. Definición de criterios ecológicos para la delimitación de AMP.	16
Tabla 5. Criterios definidos para orientar la delimitación del AMP ARSB.	17
Tabla 6. Ubicación de las estaciones de muestreo MACROFAUNA I y II.	23
Tabla 7. Valores de diversidad para las 17 estaciones de muestreo MACROFAUNA I y II.	35
Tabla 8. Clasificación de los sedimentos.	49
Tabla 9. Matriz de confusión generada por GARP.	49
Tabla 10. Aplicación de los criterios ecológicos.	58

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Registro de comunidades coralinas de profundidad.	5
Figura 2. Ciclo básico para la conservación.	10
Figura 3. Área de estudio.	19
Figura 4. Área de estudio. Sectores de muestreo.	20
Figura 5. Buque de investigación B/I Ancón.	21
Figura 6. Ubicación de las estaciones de muestreo de MACROFAUNA I y II.	22
Figura 7. Estaciones con mayor diversidad de especies registradas en el crucero MARCORAL.	26
Figura 8. Ilustración de las diferentes capas que se emplearon para la predicción de los corales azooxantelados.	27
Figura 9. Primera fase de GARP.	29
Figura 10. Plataforma DesktopGarp	29
Figura 11. Riqueza total de las 17 estaciones para los cinco grupos.	34
Figura 12. Abundancia total de las 17 estaciones para los cinco grupos.	34
Figura 13. Dendrograma de clasificación de las 17 estaciones del muestreo.	36
Figura 14. Análisis de ordenación (NMDS) de las 17 estaciones del muestreo.	37
Figura 15. Objetos de conservación (corales profundos).	39
Figura 16. Cobertura de batimetría.	41
Figura 17. Cobertura de pendiente.	42
Figura 18. Cobertura de rugosidad.	43
Figura 19. Cobertura de textura.	44
Figura 20. Cobertura de geomorfología.	45
Figura 21. Cobertura de las facies sedimentarias.	46
Figura 22. Cuatro de los cinco mejores modelos de la predicción.	47
Figura 23. Distribución espacial final del ensamblaje corales profundos.	48
Figura 24. Perturbaciones causadas por la pesca de arrastre a corales de profundidad.	56

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Organizaciones que trabajan en la conservación de las comunidades coralinas de profundidad.	74
Anexo B. Abundancia de las especies del grupo de los cnidarios.	75
Anexo C. Abundancia de las especies del grupo de los crustáceos.	76
Anexo D. Continuación de la abundancia de las especies del grupo de los crustáceos.	77
Anexo E. Abundancia de las especies del grupo de los equinodermos.	78
Anexo F. Continuación de la abundancia de las especies del grupo de los equinodermos.	79
Anexo G. Abundancia de las especies del grupo de los moluscos.	80
Anexo H. Continuación de la abundancia de las especies del grupo de los moluscos.	81
Anexo I. Continuación de la abundancia de las especies del grupo de los moluscos.	82
Anexo J. Abundancia de las especies del grupo de peces.	83
Anexo K. Continuación de la abundancia de las especies del grupo de peces.	84

RESUMEN

Esta investigación se realizó con el fin de establecer criterios biológicos evaluables, que sirvan de herramienta para incluir a los corales azooxantelados de profundidad como comunidades estratégicas a conservar en el Sistema de Áreas Marinas Protegidas (AMP), particularmente aplicado al AMP de los Archipiélagos del Rosario y de San Bernardo (ARSB). La información utilizada en este análisis fue extraída de los proyectos precedentes MACROFAUNA I-II (1998-2001) e información primaria obtenida en este proyecto del crucero MARCORAL (-150 a -250 m) y el análisis de esta información se realizó con un enfoque ecológico y espacial. De esta manera, se identificó que los corales profundos formadores de hábitat *Anomocora fecunda*, *Cladocora debilis*, *Eguchipsammia cornucopia*, *Madracis asperula*, *Madracis myriaster* y *Madrepora carolina*, crean condiciones particulares que favorece el desarrollo de una alta biodiversidad de fauna acompañante, argumentando la postulación de estos corales como objetos de conservación en el AMP ARSB. Al realizar la predicción espacial de los corales profundos en el área, se encontró que la presencia de estos fluctúa entre los 120 - 220 m, con pendientes de 4 a 11°, elevaciones del lecho marino que oscilan entre 0 y 6 m, sobre sustratos de textura suave correspondientes a lodos arenosos litobioclásticos. Se sugiere que estas características del borde de la plataforma continental pueden servir para la identificación de comunidades coralinas de profundidad en otras áreas del Caribe colombiano. Las características ambientales resultado de la predicción para la distribución de los corales profundos y los parámetros biológicos evaluados en estas comunidades (diversidad, riqueza, abundancia, entre otros) se enmarcaron dentro de los criterios biológicos de diversidad, naturalidad, representación y heterogeneidad de hábitats, cualidad de único y de exclusión, resaltando la importancia de estas comunidades en el contexto del AMP ARSB.

Palabras claves: Corales de profundidad, Criterios biológicos, predicción espacial, Áreas Marinas Protegidas, Archipiélagos del Rosario y de San Bernardo.

ABSTRACT

This research was performed with the purpose of establishing biological criteria that can be used as a tool to include deep-sea azooxanthellate corals as strategic communities in order to be conserved in the of Marine Protected Areas System (MPA), in especial in the Rosario and San Bernardo Archipelagos Marine Protected Area (ARSB-MPA). Information used in this analysis was obtained from previous projects (MACROFAUNA I-II, 1998-2001) and primary data acquired from the project MARCORAL (-150 to -250 m); data analysis was made with an ecological and spatial approach. The azooxanthellate corals *Anomocora fecunda*, *Cladocora debilis*, *Eguchipsammia cornucopia*, *Madracis asperula*, *Madracis myriaster* and *Madrepora carolina* were identified as habitat forming corals that create particular conditions that favor the development of a high diversity of associated fauna, supporting the premise that deep-sea azooxanthellate corals can be considered conservation objects for the MPA-ARSB. According to the spatial prediction of azooxanthellate corals in the area, it was found that corals were distributed in depths between 120 and 220 m, with slopes between 4 and 11°, elevation from the sea floor oscillating from flat to 6 m high, and smooth texture lithobioclastic sandy muds. It is suggested that these characteristics of the continental shelf break could be useful in the identification of deep-sea coral communities in other areas of the Colombian Caribbean. The environmental characteristics resulting from spatial prediction and the biological parameters assessed to these coral communities (diversity, richness, abundance, among others) were considered within the biological criteria of biodiversity, naturalness, habitat representation and heterogeneity, uniqueness, and human threats, showing up the importance of these communities in the context of the ARSB-MPA.

Key words: Azooxanthellate corals, biological criteria, spatial prediction, Marine Protected Areas, Archipiélagos del Rosario y de San Bernardo.

INTRODUCCIÓN

Los arrecifes coralinos albergan una biodiversidad tal que es comparable con la encontrada en el bosque lluvioso tropical. Se ha demostrado que estos son altamente productivos, especialmente cuando interactúan con otros ecosistemas. En los últimos años se ha descubierto que extensas construcciones principalmente formadas por corales azooxantelados de profundidad, poseen diversidades análogas a la de los arrecifes coralinos someros. Estas comunidades de coral proporcionan un hábitat esencial para muchas especies de peces e invertebrados (estrellas de mar, crinoideos, nudibranchios, pulpos, caracoles, esponjas y anémonas, entre otros) los cuales encuentran en estas áreas protección ante depredadores siendo así mismo, adecuadas para la alimentación, el desove y cría (Krieger, 2001; Tunesi *et al.*, 2001). Parte de esta fauna asociada es importantes desde una perspectiva comercial (Robins *et al.*, 1986; Reed y Mikkelsen, 1987), e incluso esta biodiversidad puede ser fuente para la elaboración de productos médicos, farmacéuticos y cosmetológicos (Bruckner, 2002).

El descubrimiento de estas comunidades coralinas conformadas por corales azooxantelados, ha sido posible gracias al avance de la tecnología submarina. Actualmente se cuenta con imágenes asombrosas de la existencia de corales a más de 1000 m de profundidad. Sin embargo, la mayor parte del océano correspondiente a profundidades mayores de 200 m, todavía se encuentra poco explorada debido a los múltiples desafíos tecnológicos y elevados costos para su investigación (Puglise *et al.*, 2005).

En Estados Unidos, mediante el uso de vehículos operados a control remoto, DeVogelaere *et al.* (2005) colectaron muestras de corales y realizaron un video digital de 90 horas a 1250 m de profundidad en el *Davidson Seamount* (California). Con el hallazgo de cerca de 20 taxones y gracias a la naturaleza prístina de este registro, esta zona se ha puesto bajo consideración de las entidades gubernamentales para su protección como parte del Santuario Marino Nacional de Monterrey.

A pesar de que la mayor parte de los registros y actividades relacionadas con la protección de las comunidades coralinas de profundidad son muy recientes -no sobrepasan una década-, ya se han establecido marcos de referencia para su estudio y minimización de impactos por causas

antropogénicas, lo cual ha redundado en el establecimiento de varias Áreas Marinas Protegidas (AMP) que incluyen estas comunidades. Dentro de estas áreas son reconocidas el *Rockall Bank* en la isla Hebridean en St. Kilda, *Galicia Bank* en España, *Josefine Bank* en Portugal, el *Darwin Mounds* en el Reino Unido, *Skagerrak* en Suecia, *Faroe Bank* en islas Faroe, *the Røst Reef* y el AMP *Sula Ridge* en Noruega (UNEP, 2006).

El interés en la conservación de los corales de profundidad ha ido creciendo alrededor del mundo conforme se avanza en su conocimiento, ejemplo de ello, es la gran cantidad de organizaciones que a nivel internacional trabajan en su preservación (Anexo A). Una de ellas, OCEANA, recientemente ha aportado valiosa información para la declaración de áreas marinas protegidas en las Islas Aleutianas en Alaska (Shester y Ayers, 2005). Liderando el desarrollo de actividades en pro de mantener viable la biodiversidad marina de los ecosistemas profundos, siendo su meta principal protegerlos de las actividades relacionadas con la pesca de arrastre en aguas profundas, lo cual incluye un fuerte componente divulgativo y de difusión de esta cultura hacia otras regiones (Hirshfield *et al.*, 2005).

Los temas de estudio más sobresalientes de estas organizaciones incluyen la protección de la diversidad de las comunidades asociadas a los corales de profundidad como hábitat para peces y crustáceos que sustentan actividades pesqueras a nivel industrial. Cifras alarmantes de la U.S. Federal Fishery Observer revelan que desde 1990 hasta 2002, aproximadamente 2'176,648 kg de coral y esponjas de profundidad de los fueron extraídos como material de descarte en las pesquerías de arrastre que son el 52% total de lo extraídos en Alaska, estimando que el 87% de corales y el 91% de esponjas de profundidad son extraídas como descarte a causa de la pesca de arrastre en el mar de Bering en las Islas Aleutianas, generando una alerta regional debido a las consecuencias que estas generan sobre el lecho marino (Shester y Ayers, 2005). Los autores no referencian especies puntuales, espero que con las cifras que agregue sea más enfático. En consecuencia, el Consejo Internacional para la Exploración de los Mares y el Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos, sugirieron tres estrategias acerca de cómo minimizar los impactos ocasionados por los dragados y arrastres de las pesquerías: 1) reducir el esfuerzo pesquero; 2) vedar áreas; y 3) modificar y sustituir este arte de pesca. Los resultados obtenidos por las mencionadas y similares organizaciones ha cobrado tal importancia en países como Australia, Canadá, Chile, Estados Unidos, Noruega y Perú, que han emitido leyes para el manejo integrado de estas comunidades (Morgan *et al.*, 2005).

El gobierno Canadiense ha acogido las dos primeras recomendaciones y descartado la tercera, ya que a principio de los 90 se presentó un colapso que produjo el cierre de muchas empresas pesqueras. Sin embargo desde entonces se han establecido tres AMP en aguas territoriales al este de Canadá " *Basin Head* (Prince Edward Island), *Gilbert Bay* (Labrador) y *Eastport* (Newfoundland), con un interés muy claro en la protección e investigación de los corales profundidad como un esfuerzo en la conservación de las comunidades bénticas de este país (Butler, 2005).

Un estudio similar realizado por Morgan *et al.* (2005) a lo largo de la costa Pacífica estadounidense, analiza la relación entre los impactos ecológicos de las diferentes artes de pesca que afectan a las comunidades de corales de profundidad. Como resultado allí se propone generar un manejo adecuado de las pesquerías, a través del redireccionamiento de los esfuerzos pesqueros hacia la búsqueda de sistemas que eviten un nivel crítico de estas poblaciones. Basados en los desembarques de la pesca de arrastre de *groundfish*, la cual genera un fuerte impacto ecológico a estas comunidades.

Debido al escaso conocimiento de las comunidades coralinas de profundidad y el difícil acceso a estas, es apropiado el uso de técnicas que faciliten su ubicación espacial. Por este motivo, Laverette y Metazas (2005), propusieron una predicción espacial de dos especies de corales azooxantelados *Paragorgia arborea* y *Primnoa resedaeformis*, a lo largo de la plataforma continental canadiense. Esta alternativa permite tener un mapeo aproximado de la distribución de los corales de profundidad, la cual podría ser considerada para la protección de disturbios causados por la pesca de arrastre en estas zonas. Usaron el programa *Biomapper*, determinando el nicho más especializado. La especie *P. arborea* se caracterizó por presentar una distribución muy especializada, registros solamente en ambientes inclinados y rocosos; en contraste con *P. resedaeformis*, la cual presentó una menos especializada. Siendo su objetivo principal el de generar herramientas para la conservación de las especies de corales de profundidad.

En Latinoamérica se han generado esfuerzos similares en la búsqueda de alternativas para la protección de los ecosistemas de profundidad. La ecorregión del Gran Caribe cuenta con 285 AMP (Burke y Maidens, 2005), correspondientes al 5,7 % de 5000 a nivel mundial (UNEP *et al.*, 2005), dentro del cual Colombia participa con seis parques marino-costeros, es decir, menos del 3% del total de AMP en la región. Aunque se están encaminado esfuerzos preliminares en la identificación de nuevas AMP. Actualmente, la Universidad del Magdalena bajo el liderazgo del investigador Jorge

Páramo lleva a cabo un estudio que evalúa el impacto que ejercen sobre el lecho marino las actuales pesquerías de arrastre en La Guajira, en contraste con métodos alternativos que emplean nuevas tecnologías para la minimización de sus impactos, proyecto en el cual también participa el grupo de Investigación en Ecología Pesquera del INVEMAR. Los resultados de este proyecto son un aporte importante en la consolidación de una propuesta nacional que regule metodologías válidas para la extracción sostenible de los recursos pesqueros, pero no es suficiente ya que el desarrollo de los ecosistemas bénticos, es inversamente proporcional a la pesca de arrastre.

Colombia con la promulgación de la nueva constitución política (1991), su activa participación en la conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en Río de Janeiro (1992), su firme adhesión y ratificación al Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB, ley 165 de 1994), la promulgación de la ley 99 de 1993, con la consecuente profunda reorganización institucional que creó el Sistema Nacional Ambiental (SINA), y la formulación de la política Nacional de Biodiversidad, le confiere al tema ambiental en la última década una importancia sin precedentes, específicamente en relación con la biodiversidad biológica, no sólo en el ámbito nacional, sino también en el contexto de las relaciones internacionales (INVEMAR, 2000).

Con lo anterior, desde hace algún tiempo se vienen fomentando en el país las áreas marinas con cierto nivel de protección (e.g. Parque Nacional Natural Tayrona), pero las AMP de profundidad son un tema escasamente desarrollado en Colombia. Hace poco se estableció legalmente el AMP de los Archipiélagos del Rosario y de San Bernardo (ARSB), la cual fue decretada en el *Diario Oficial 45.927 en la Resolución 0679 del 31 de Mayo del 2005 por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – Colombia*. El documento base de esta normatividad se hizo a partir de una recopilación bibliográfica en la cual se listan una serie de criterios generales para áreas protegidas y se enfatiza en criterios particulares aplicables a las AMP (INVEMAR–UAESPNN–CARDIQUE–EPA–CARTAGENA, 2003). En este documento se utilizaron los registros de Reyes *et al.* (2005), para que estas comunidades fueran tenidas en cuenta e incluidas bajo el principio de “precaución” en la declaración del AMP ARSB, dado el limitado conocimiento que se tenía aún de ellas.

El área marina protegida de los Archipiélagos del Rosario y de San Bernardo es la única área protegida submarina de Colombia y gracias al esfuerzo del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, ya cuenta con un plan de conservación avalado por la Constitución Política de Colombia donde establece que es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas

culturales y naturales de este lugar, además dispone el deber de proteger la diversidad e integridad del ambiente, la conservación de las áreas de especial importancia ecológica, la planificación, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución, así como también prevenir los factores de deterioro ambiental estipulado en la Resolución 0679 del 31 de Mayo del 2005 (INVEMAR– UAESPNN– HCARDIQUE–EPA–CARTAGENA, 2003).



HFigura 1. Tres localidades del Caribe colombiano donde se registraron las comunidades coralinas de profundidad, en La Guajira, Santa Marta y San Bernardo Tomado y modificado de Reyes *et al.* (2005).

Durante las investigaciones realizadas en los proyectos MACROFAUNA I y II por parte del INVEMAR, se listaron cerca de 900 especies de peces e invertebrados para el Caribe colombiano. El hallazgo fortuito de una gran cantidad de corales azooxantelados en tres estaciones La Guajira, Santa Marta y San Bernardo (Figura 1) con una riqueza de especies mayor que en las demás estaciones muestreadas, permitió sugerir que estas áreas coralinas conforman comunidades

particularmente diversas en el Caribe colombiano (Santodomingo y Reyes, 2003). En la estación frente al Archipiélago de San Bernardo (155 – 160 m), se identificaron 19 especies de corales escleractínios, asociados a estos ensamblajes de corales azooxantelados se encontraron crustáceos, moluscos, equinodermos y peces. Gracias a lo anterior, se sugirió que estas comunidades son importantes porque sostienen la tercera parte de la biodiversidad marina presente en la plataforma y talud continental del Caribe colombiano, razón por la cual son primordiales para la conservación y el desarrollo de la fauna marina. Con el fin de preservar la biodiversidad de especies asociadas a estas comunidades se debe precisar el papel que desempeñan los corales. La protección de estas comunidades representaría un aporte importante a la conservación de la diversidad colombiana, ya que no se tiene un conocimiento claro de que hay, pero se tiene registros de la importancia que juegan estas comunidades para la riqueza de las especies marinas (Reyes *et al.*, 2005).

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Este estudio se propone establecer información puntual que justifique la inclusión de las comunidades coralinas de profundidad, enmarcadas bajo el principio de precaución en el AMP ARSB, mediante criterios biológicos basados en diversidad, objetos de conservación y una posible distribución espacial de estas comunidades.

1.2. OBJETIVOS

En el proyecto "BIODIVERSIDAD DE LAS COMUNIDADES DEL MARGEN CONTINENTAL COLOMBIANO. Fase 1. Comunidades coralinas de profundidad (100 – 300 m), criterios biológicos y geofísicos para la definición del Área Marina Protegida de Islas del Rosario - San Bernardo" financiado por COLCIENCIAS e INVEMAR. Se enmarca este trabajo de grado el cual se basó en los siguientes objetivos:

1.2.1. Objetivo principal

Establecer criterios biológicos evaluables en comunidades de profundidad que sirvan como herramienta para la zonificación y declaración de los corales azooxantelados como comunidades estratégicas a conservar en el sistema de AMP, particularmente aplicado al AMP ARSB.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar objetos de conservación en las comunidades coralinas de profundidad del AMP ARSB.
- Modelar espacialmente la distribución de los objetos de conservación con base en la batimetría, la pendiente, la rugosidad, la textura, la geomorfología y el tipo de sedimento en el área de estudio.

1.3. MARCO TEÓRICO

1.3.1. Conceptos generales

- **Biodiversidad:** para la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) biodiversidad implica: "*todas las especies de plantas, animales, microorganismos y los procesos ecológicos y ecosistémicos de los cuales hacen parte... incluyendo el número y la frecuencia de ecosistemas, especies o genes en un ensamblaje dado*". Hay muchas estrategias para la definición de un AMP, cuando el objetivo es la preservación de la biodiversidad. Lo más importante para ello es la calidad de los datos que se tengan disponibles, por esto se han creado estrategias para escoger áreas a partir de la incompleta información de las especies, diferentes niveles taxonómicos, sustitutos de diversidad, entre otros. Se busca escoger una red con un limitado número de sitios para maximizar el número esperado de especies representadas en los sitios seleccionados (Polasky *et al.*, 2000).
- **Margen continental:** el margen continental es la porción del continente cubierta por las aguas de mares y océanos, el cual alberga la plataforma, el talud y la elevación continental. Además de este se pueden distinguir básicamente otras dos zonas del relieve submarino,

llamadas: (1) transicional, región donde choca una placa oceánica y otra continental y (2) lecho oceánico, la mayor parte de la superficie oceánica que equivale a un 68,6% de la misma (Planicies Abisales, Dorsales y Montañas Submarinas) (Davis, 1983). En este trabajo de grado, el estudio sobre el margen continental comprende parte de la plataforma continental y borde superior del talud, ya que las profundidades oscilan entre 100 y 300 m.

- **Corales azooxantelados de profundidad:** las comunidades de corales azooxantelados presentan cualidades que son de gran importancia, comparadas con los zooxantelados, rangos más amplios de distribución geográfica y batimétrica, rangos más amplios de temperatura, se pueden desarrollar en las zonas afóticas y se presentan en todos los ambientes: fondos duros, arenosos y fangosos (Hatcher y Scheibling, 2001) (Tabla 1). A esto se suma la particular propiedad de que posiblemente sean la matriz de una alta biodiversidad poco explorada hasta ahora.

Anteriormente se creía que los únicos corales duros capaces de llegar a formar grandes estructuras de carbonato de calcio eran aquellos, cuya simbiosis con las zooxantelas, les garantiza un subsidio energético clave para la producción de su esqueleto (Tambutté *et al.*, 1996). Con el desarrollo de tecnologías para la exploración del mar profundo, este paradigma está siendo cuestionado, pues se ha descubierto que también los corales azooxantelados de aguas frías y profundas, pueden llegar a fijar cantidades importantes de carbonato de calcio al punto de establecer ensamblajes que modifican el fondo marino y proveen un hábitat que sustenta una gran cantidad de especies. La principal fuente de alimento de estos eficientes carnívoros, que promueve su crecimiento y desarrollo se encuentra en el material orgánico suspendido en la columna de agua.

Tabla 1. Contraste entre los corales azooxantelados y zooxantelados, en cuanto a la profundidad, temperatura, número de especies, latitud y salinidad (Hatcher y Scheibling, 2001).

VARIABLES	CORALES ZOOXANTELADOS	CORALES AZOOXANTELADOS
ESPECIES	663 sp (49,7 %)	672 sp (50,3 %)
LATITUD	23° N a 23° S ± 10°	30° N a 70° N (?)
PROFUNDIDAD	0 a 25 m (-0,5 a 150 m)	60 a 300 m (-0,5 a 6200 m)
TEMPERATURA	23 a 28 °C (11 a 40 °C)	10 °C (-1 a 35 °C)
SALINIDAD	34 a 36 (27 a 48) UPS	34 a 36 UPS
ZONA FÓTICA	Hermatípico y Ahermatípico	Ahermatípico
ZONA AFÓTICA	Ausente	Hermatípico y Ahermatípico

En términos generales, las estructuras construidas por corales de profundidad comparten las siguientes características: 1. Están adheridas a sustratos duros locales tales como pequeñas elevaciones preexistentes, y sustratos duros diagenéticos; 2. Crecen por debajo de la línea de oleaje de tormentas locales; 3. Se asocian con corrientes fuertes, permanentes o episódicas, que evitan el asentamiento de detritos de grano fino, al menos durante el periodo de vida de los corales; 4. Tienen preferencia por sitios con parámetros oceanográficos físicos estables, en términos de temperatura y salinidad, con fluctuaciones pequeñas a lo largo de un ciclo anual (Dons 1944; Fredericksen *et al.*, 1992; Freiwald *et al.*, 1999; Mortensen *et al.*, 2001; Freiwald *et al.*, 2002).

La importancia de estas comunidades ha sido reconocida ya que la valiosa diversidad de especies es ecológicamente importante. Sin embargo, el pobre conocimiento adquirido acerca de este ecosistema ha derivado en el inadecuado manejo de las áreas donde se desarrollan, al punto que en algunos sectores donde se ha implementado la pesca de arrastre se han producido considerables desastres ambientales (Butler, 2005; Morgan *et al.*, 2005; Shester y Ayers 2005). En vista de este deterioro y por el potencial impacto que trae consigo el avance tecnológico para la explotación de los recursos marinos, cobra importancia la ejecución de estudios sobre caracterización de las comunidades de corales azooxantelados en el margen continental, como información estratégica para su conservación a través de su inclusión en áreas protegidas.

1.3.2. Áreas marinas protegidas

El establecimiento de AMP puede ser una solución útil para la conservación, manejo y uso racional de los recursos marino-costeros. Para la UICN, las AMP son "toda área de terreno intermareal o submareal, incluidas el agua superficial, la flora, fauna y peculiaridades históricas o culturales asociadas, que ha sido reservada por ley u otros medios válidos, para proteger parcial o totalmente el ambiente que encierra", el cual es acogido literalmente por el Sistema de Parques Nacional Naturales de Colombia (INVEMAR–UAESPNN–CARDIQUE–EPA–CARTAGENA, 2003).

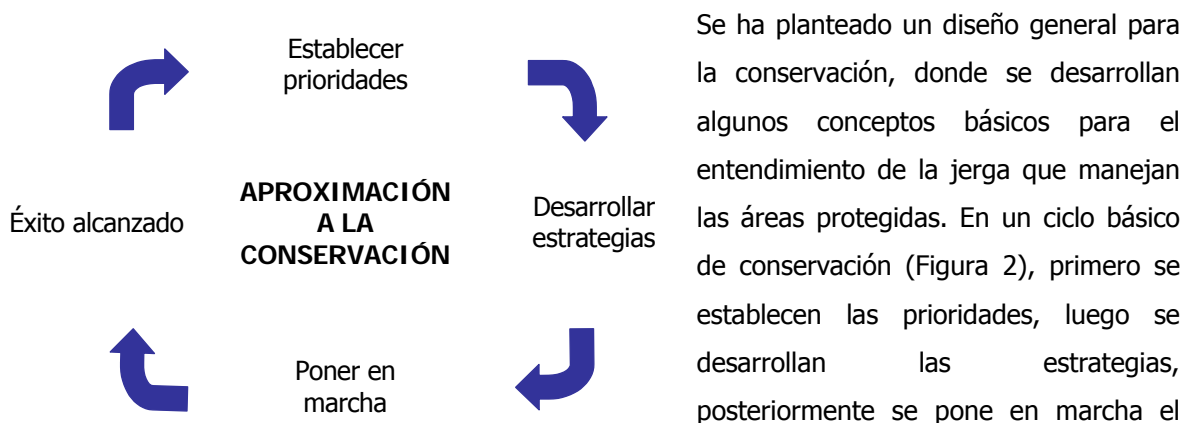


Figura 2. Ciclo básico para la conservación. Tomado y modificado de The Nature Conservancy (2004).

nuevamente al inicio del ciclo, donde se vuelven a establecer prioridades de conservación (The Nature Conservancy, 2004).

El alcance de este trabajo de grado tiene como finalidad las dos primeras fases del ciclo, es decir, establecer prioridades y hacer un aporte al desarrollo de estrategias. Algunos de los pasos preliminares para el establecimiento de AMP, se enuncian a continuación:

1. Recolección de datos de la biodiversidad: este es el paso más importante a la hora de la selección de AMP, ya que estos proporcionan la eficiencia metodológica y la veracidad que pueda tener el trabajo. Se le llama recolección de datos de diversidad a la compilación de toda la información pertinente a la zona de estudio, la cual se divide en varios criterios como son los bióticos, sociales, económicos y político-administrativos. Los criterios bióticos comprenden la información biológica y su relación con el medio; estas capas abarcan varios ítems (e.g. tipo de sustrato, régimen fluvial - profundidades, zonas de desove). Lo anterior debe ser integrado de manera tal, que intervengan todas las entidades que tengan este tipo de información del área de

estudio. Este puede ser el paso más dispendioso y complejo de todos, ya que los datos muchas veces están mal tomados y al momento de georeferenciarlos tienen diferentes tipos de escalas (Gerhartz, 2005).

2. Sustitutos ecológicos: se usan sustitutos de la diversidad para el desarrollo de AMP, porque no es posible tomarla toda, sino que hay que fraccionarla en ítems que la representen. Para ello se requieren dos procedimientos: el primero incluye métodos para descifrar grupos de datos y el segundo para usar esos datos en la identificación de áreas de prioridad. El propósito es incorporar todas las características de las poblaciones en un grupo de datos disponibles, puestos en un área lo más pequeña posible o tantas características viables como sean posibles para un número dado de áreas o el área total. Puede que este sea el punto de partida para la planificación de conservación de dichas comunidades (Margules *et al.*, 2002).

3. Identificar las metas de conservación: son porcentajes cuantificables precisados *ad hoc* de cuanto se quiere conservar, este valor se define según los intereses propios para cada criterio, (e.g. se quiere conservar el 10% de los sitios con presencia de corales en el AMP). Los sistemas de AMP a través del mundo contienen una muestra parcial de biodiversidad, generalmente de lugares alejados y de otras áreas que son inadecuadas para actividades comerciales. Si se quiere que una proporción grande de biodiversidad exista en un futuro, se debe hacer mayores esfuerzos en la conservación, ya que cada día hay un aumento en el número de personas y sus demandas de recursos naturales (Margules y Pressey, 2000).

Las AMP son establecidas principalmente para la protección de la biodiversidad, incluyendo ecosistemas, comunidades, ensamblajes biológicos, poblaciones y especies. El papel básico de estas es separar elementos de la biodiversidad de procesos que amenacen su existencia en el medio. Para que sea integral depende de cómo se resuelvan dos objetivos. El primero es la representatividad, lo que hace referencia a constituir una zona, que idealmente represente todos los niveles de organización (biodiversidad). El segundo es persistencia, ya una vez estén establecidas deben promover la supervivencia a largo plazo de las especies y de otros procesos naturales manteniendo así poblaciones viables que están excluidas de amenazas. Para resolver estos objetivos, la planificación en la conservación debe ocuparse no solamente de la localización

de las áreas en lo referente a patrones físicos y biológicos naturales, sino también, del diseño que incluya variables tales como: tamaño, conectividad, réplica y delimitación. Un acercamiento sistemático estructurado al planeamiento de conservación proporciona el fundamento necesario para resolver estos objetivos (Margules *et al.*, 2002).

4. Identificar áreas prioritarias para la conservación: en el establecimiento de AMP, los criterios biológicos son *la persistencia, la vulnerabilidad de las especies, la complementariedad, la eficiencia, la irremplazabilidad y la flexibilidad*, son características imprescindibles para al final saber ¿qué tan importante e irremplazable es o no un área? (Margules *et al.*, 2002). De esta manera, el estudio de las especies, las comunidades y el ambiente constituyen la información básica. Bajo este concepto se incluyen también las especies raras, áreas silvestres, la diversidad, la rareza ecológica y el tamaño del área.

La distribución espacial de las especies influye directamente en los procesos de selección de AMP, debido a la agregación de las mismas y esto varía entre los grupos taxonómicos. Una parte del éxito de la protección de los diferentes grupos bióticos es que tan bien cada ensamblaje refleje los patrones "reales" de distribución. Algunos investigadores proponen que en general, los resultados están influenciados por tres principales factores: la escala espacial a la cual las AMP están siendo consideradas, la ubicación geográfica y la identidad de los grupos taxonómicos a considerar (Vanderklift *et al.*, 1998).

Además de la identificación de áreas prioritarias para la conservación, se deben seleccionar zonas adicionales no contempladas dentro de un AMP (e.g. nuevos registros de zonas de desove posteriores a la declaración del AMP), donde se requiere de un proceso de evaluación previo que implica la aplicación de diferentes criterios que orienten el proceso adecuadamente. Estos se enfatizan en aspectos como la representatividad, la diversidad de hábitats y especies únicas. Es conveniente aplicarlos para la selección de sitios cuyos objetivos centrales se relacionan con la conservación de la diversidad genética, la protección de procesos ecológicos básicos y el repoblamiento de determinadas especies (Salm *et al.*, 2000).

1.3.3. Objetos de conservación

Las AMP son diseñadas bajo objetivos que apuntan a la preservación de un conjunto de ítems llamados objetos de conservación, que según la WWF los objetos de Conservación son “un subconjunto de elementos en diferentes escalas geográficas y niveles de organización biológica que mejor represente a toda la biodiversidad”. Se clasifican en dos tipos: de filtro grueso como por ejemplo ecosistemas, comunidades, poblaciones, tipos de sustratos, paisajes, entre otros y de filtro fino como especies en peligro, endémicas, sitios de desove o de anidamiento, que son menos globales, los cuales son prioridad al momento de un planeamiento sistemático para la conservación (Roberts y Hawkins, 2000).

1.3.4. Predicción espacial

Existen varios modelos para la predicción espacial de las especies, uno de ellos es el *Genetic Algorithm for Rule-Set Prediction* (GARP), el cual combina datos primarios (presencia) versus variables ecológico/ambientales, estos deben ser mapas digitalizados por medio de software especializados, para modelar una posible distribución geográfica de la presencia de las especies (Anderson *et al.*, 2003). De esta manera, es una importante herramienta para la biogeografía (Peterson *et al.*, 2000), la evolución (Nicholls, 1989), la ecología (Peterson *et al.*, 1999), la conservación (Corsi *et al.*, 1999) y el manejo de especies invasoras (Peterson y Vieglais, 2001), entre otras.

Estas modelaciones presentan una solución heurística por medio de una amplia exploración del área buscando espacios semejantes y mejorando sus propias soluciones para una optimización de los criterios preestablecidos (Anderson *et al.*, 2003), constituyendo una clase de inteligencia artificial inspirada en modelos genéticos y evolucionistas (Holland, 1975).

GARP posee un sistema de múltiples soluciones que requiere un examen de las posibles fuentes de error para la selección del mejor modelo de predicción. Como estrategia toma un porcentaje determinado de la presencia de las especies (dadas por el investigador) dividiéndolas de manera aleatoria en dos grupos: datos para la predicción y de entrenamiento usados para evaluar los errores propios del modelo, corroborada mediante los puntos de prueba para observar que tan acertada es la predicción (Anderson *et al.*, 2003).

Dos tipos de interpretaciones erróneas son posibles al momento de predecir la distribución de las especies: falso negativo (error de omisión) y falso positivo (índice de inclusión). Estos son presentados en la matriz de confusión (Tabla 2), a partir de los puntos de entrenamiento, con cuatro tipos de respuestas **a**, **b**, **c** y **d**. El elemento **a** representa una distribución correcta, ya que la predicción generada por GARP y contrastada con los puntos dejados para entrenamiento (distribuciones reales) coinciden en presencia, **d** refleja la región donde las especies no se registraron y fueron confirmadas por el modelo como una ausencia; de esta manera, **a** y **d** se consideran como clasificaciones correctas. En contraste, **c** y **b** son usualmente interpretados como errores, el elemento **c** (falso negativo) denota un **error de omisión**, ya que los píxeles reales de presencia se predicen como ausencia por el modelo y para **b** (falso positivo), denota un **error de inclusión** ya que la distribución registrada como ausencia es incluida incorrectamente como presencia por el programa (Anderson *et al.*, 2003).

Para generar una modelación final apropiada, se debe obtener una clasificación correcta (Tabla 3), a partir de la matriz de confusión. La ecuación $(a+d)/(a+b+c+d)$ es igual a la "precisión" del modelo con rangos cuantitativos que oscilan entre cero y uno. Además, se deben calcular los valores de **c** (error de omisión) y **b** (índice de inclusión), a partir de $c/(a+c)$ y $b/(b+d)$ respectivamente. Entre los valores se acerquen más a cero la predicción carecerá de errores (Anderson *et al.*, 2003).

Tabla 2. Elementos de la matriz de confusión, usados por el GARP donde los píxeles de las coberturas ambientales son remuestreados para producir la matriz de confusión. **a** es la presencia predicha como presente, **b** es la ausencia predicha como presencia (índice de inclusión), **c** es la presencia interpretada en ausencia (error de omisión) y **d** es la ausencia predicha como ausente (Anderson *et al.*, 2003).

Predicción	Actual	
	Presente	Ausente
Presente	a	b
Ausente	c	d

Tabla 3. Medidas cuantitativas intrínsecas para medir la eficiencia del modelo de predicción GARP basadas en datos de entrenamiento (Anderson *et al.*, 2003).

Medida	Calculo
Clasificación correcta	$(a+d)/(a+b+c+d)$
Error de omisión	$c/(a+c)$
Índice de inclusión	$b/(b+d)$

1.3.5. Criterios biológicos

➤ Criterios de selección para áreas marinas protegidas

La conservación y el manejo sostenible de los recursos son los dos objetivos principales para el establecimiento de AMP (Roberts *et al.*, 2003a). Existen más de 5000 AMP en el mundo, unascientas, quizás miles, están en la etapa de planeación (Kelleher *et al.*, 1995; UNEP-WCMC-IUCN-WCPA-WWF, 2005). Todas estas se basan en diferentes criterios de selección y con diferentes metas de conservación. Para la identificación y selección de nuevas AMP se requiere de un proceso de evaluación previo que implica la aplicación de diferentes criterios que orienten el proceso adecuadamente (Salm *et al.*, 2000). A partir de una exhaustiva revisión de la literatura, se escogieron criterios para el establecimiento de AMP (INVEMAR, 2003) (Tabla 4).

➤ Criterios de selección para el área marina protegida de los Archipiélagos del Rosario y de San Bernardo.

Para cada AMP se selecciona un determinado número de criterios, que están directamente relacionados con las metas de conservación. Como resultado del estudio exhaustivo que se hizo previamente (INVEMAR–JAESPNN–CARDIQUE–EPA–CARTAGENA, 2003), para el AMP ARSB se seleccionaron 17 criterios con el fin de orientar su delimitación, de los cuales son: siete bióticos, cuatro sociales, tres económicos y tres político administrativos (Tabla 5).

Tabla 4. Definición de criterios ecológicos, para la delimitación de AMP, compilado en INVEMAR (2003) a partir de los autores: Salm y Clark, 1984; Kelleher y Kenchington, 1992; Kelleher *et al.*, 1995; Roberts y Hawkins, 2000; Salm *et al.*, 2000; Airamé *et al.*, 2003; Roberts *et al.*, 2003a; Roberts *et al.*, 2003b.

CRITERIOS BIOLÓGICOS	
Diversidad	La variedad o riqueza de los ecosistemas, hábitats, comunidades y especies. Las áreas que posean una mayor variedad deben recibir rangos mayores.
Diversidad genética	El área es diversa o abundante en términos de especies.
Naturalidad	La carencia de afectaciones o degradación. Los sistemas degradados tendrán poco valor para la pesca o el turismo y harán pocas contribuciones biológicas.
Representación biogeográfica	El área posee cualidades biogeográficas raras o es representativa de un "tipo" o tipos biogeográficos. El área contiene rasgos geológicos únicos o inusuales.
Representación y heterogeneidad de los hábitats	El grado en que un área represente un tipo de hábitat, un proceso ecológico, una comunidad biológica, un rasgo fisiográfico u otra característica natural. Todos los hábitats deben estar representados y los hábitats replicados deben estar protegidos en otras reservas dentro de las regiones biogeográficas. Este criterio actúa como una alternativa a la diversidad de las especies pero requiere menos datos.
Cualidad de único	Si un área es "única en su tipo." Los hábitats de especies en peligro que aparecen solamente en un área constituyen un ejemplo de esto.
Presencia de especies o poblaciones de interés especial	Especies con área de distribución restringida, relicticas, amenazadas o raras a escala mundial, por ejemplo, aumentan el valor de un lugar al igual que las poblaciones que tienen características genéticas especiales.
Integridad	El grado en que un área constituya una unidad funcional – una entidad ecológica autosostenible. Mientras más autocontenida sea el área desde el punto de vista ecológico más probable será que sus valores se puedan proteger de forma efectiva y de ese modo, se le debe otorgar un rango mayor a esas áreas.
Ecosistemas en funcionamiento y enlaces	Áreas que se vinculan con otros sistemas y los sustentan, por ejemplo mediante la exportación de nutrientes, tienen mayor valor que aquellas que no lo hacen; de igual modo, los sitios que dependen de los vínculos con otros sistemas son vulnerables, a menos que esos sitios también estén protegidos.
Presencia de etapas de vida vulnerables	Etapas de vida vulnerables, como los sitios de desove o zonas de cría atraen una prioridad alta.
Vulnerabilidad	La susceptibilidad del área a la degradación provocada por los sucesos naturales o las actividades de las personas. Las comunidades bióticas asociadas con los hábitats costeros pueden tener poca tolerancia a los cambios en las condiciones ambientales o pueden estar cerca de los límites de su tolerancia (definida por la temperatura del agua, la salinidad, la turbiedad, la profundidad).
Productividad	El grado en que los procesos productivos de un área contribuyan a los beneficios para las especies o los humanos. Las áreas productivas que contribuyan más a la sostenibilidad de los ecosistemas deben recibir un rango mayor. Las excepciones las constituyen las áreas eutróficas donde una alta productividad puede tener un efecto pernicioso.
De exclusión	Nivel de amenaza humana – niveles muy elevados de amenaza humana impedirán que un sitio sea considerado, pero las amenazas que se pueden mitigar podrían aumentar la prioridad para la protección. Por ejemplo, una fuerte motivación para establecer reservas totalmente protegidas es mitigar la amenaza de la pesca excesiva.
De selección	Tamaño del sitio: ¿cuáles y cuántos de los diversos hábitats se deben incluir en el área protegida? – los sitios candidatos deben ser lo suficientemente grandes como para sustentar hábitats viables. Un hábitat viable es aquel que sustenta poblaciones de las especies componentes que pueden subsistir a largo plazo. Conectividad – los sitios deben interconectarse con otros a través de la dispersión y migración de los organismos que contienen. Las redes de reservas deben interconectarse. Cuanto más cerca estén las reservas entre sí, será mayor la probabilidad de que haya conectividad. Sin embargo, si las reservas están demasiado cerca entre sí, hay un aumento del riesgo de que los trastornos catastróficos afecten a más de una de ellas.

Tabla 5. Criterios definidos para orientar la delimitación del AMP ARSB (INVEMAR–UAESPNN–CARDIQUE–EPA–CARTAGENA, 2003).

CRITERIOS BIÓTICOS	CRITERIOS SOCIALES	CRITERIOS ECONÓMICOS	CRITERIOS POLÍTICO-ADMINISTRATIVOS
Diversidad	Valor científico	Importancia para las especies	Facilidad de manejo, compatibilidad con los regímenes de manejo existentes.
Representación biogeográfica	Educación	Beneficio económico	Compatibilidad con los usos existentes, particularmente por parte de las comunidades locales.
Nivel de amenaza humana	Recreación	Turismo	Disponibilidad
Conectividad	Aceptación social		
Ecosistemas en funcionamiento y enlaces			
Preservación de etapas de vida vulnerables			
Integridad			

2. ÁREA DE ESTUDIO

El Programa Nacional de Investigación en Biodiversidad Marina y Costera PNIBM, se concentra en ecorregiones estratégicas de importancia nacional, regional y local. El área de estudio se encuentra dentro de una de ellas, la ecorregión Archipiélagos Coralinos (ARCO), la cual se extiende paralelamente a la ecorregión Golfo Morrosquillo (MOR) hacia mar afuera, a partir de la isóbata de 40 m que se encuentra frente a la costa hasta el límite externo de la plataforma continental. Incluye áreas de costa continental de naturaleza rocosa (parte exterior de la isla de Tierrabomba y costa norte de la península de Barú), archipiélagos y bajos coralinos de la plataforma continental hasta la isóbata de 200 m. Esta ecorregión se caracteriza por una baja influencia de los aportes continentales, aguas relativamente transparentes y amplios mosaicos en los que se combinan llanuras de sedimentos bioclásticos, formaciones coralinas, praderas de pastos y manglares (INVEMAR, 2000).

El área de estudio corresponde a la parte norte de Suramérica (Figura 3) en el sector N-W del Caribe colombiano, con una profundidad entre 90 y 280 m. Los datos fueron obtenidos de tres sectores de muestreo, A: 14 x 4 km con 56 km² (9° 51,089' N 76° 11,137' W; 9° 44,218' N 76° 15,052' W); B: 4 x 4 km con 16 km² (9° 54,013' N 76° 11,332' W; 9° 51,706' N 76° 9,085' W) y C: 10 x 4 km de 40 km² (10° 1,193' N 76° 5,309' W; 10° 4,416' N 76° 0,715' W), para un área efectiva de 112 km². El sector A se encuentra dentro del AMP ARSB y los sectores B y C fuera del AMP ARSB (Figura 4).

El régimen climático de la zona de estudio, se encuentra bajo la influencia de los desplazamientos norte - sur de la Zona de Convergencia Intertropical (Z.C.I) (CIOH-CARDIQUE, 1998; INVEMAR-CVS-CARSUCRE, 2001). A pesar que no se tiene mayor conocimiento del estado del agua para la zona de estudio, se considera que las variaciones en la temperatura del agua van disminuyendo desde aguas costeras hacia mar afuera (INVEMAR-CVS-CARSUCRE, 2001). Los principales sistemas de aporte de aguas continentales que influyen sobre el área de estudio son de origen industrial y doméstico de la ciudad de Cartagena e isla Barú que son depositados a la bahía de Cartagena, el río Magdalena, el canal del Dique, el río Sinú y el golfo de Morrosquillo con su sistema de caños y arroyos (Becerra *et al.*, 1998; INVEMAR, 2002).

El Parque Natural Nacional Corales del Rosario y San Bernardo hace parte de la región noroccidental colombiana, la cual está localizada en una zona de interacción de tres placas tectónicas, Nazca, Suramericana y Caribe, cuyos desplazamientos generan fenómenos de compresión y cizallamiento. Este terreno se formó en dos episodios que corresponden a la formación de los cinturones de San Jacinto y Sinú, en el cual el diapirismo de lodo aparece como el factor predominante sobre la geomorfología, permitiendo el establecimiento de comunidades coralinas someras (Vernette, 1985).

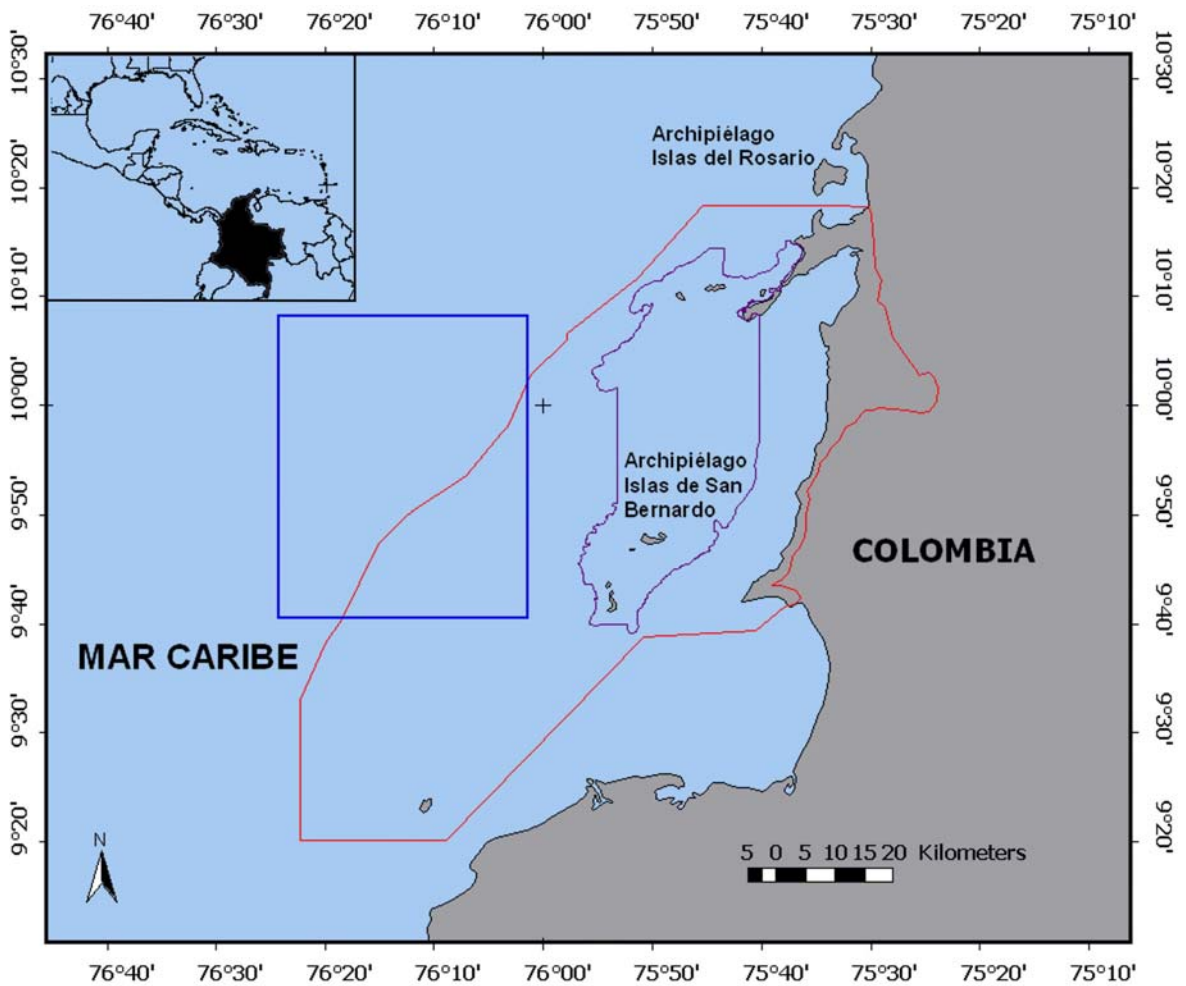


Figura 3. Área de estudio (recuadro azul), frente al Parque Nacional Natural Corales del Rosario (polígono morado), con una parte dentro y otra fuera del AMP ARSB (polígono rojo). Generado a partir cartografía base tomada del Laboratorio de sistemas de información geográfica del INVEMAR (LABSI).

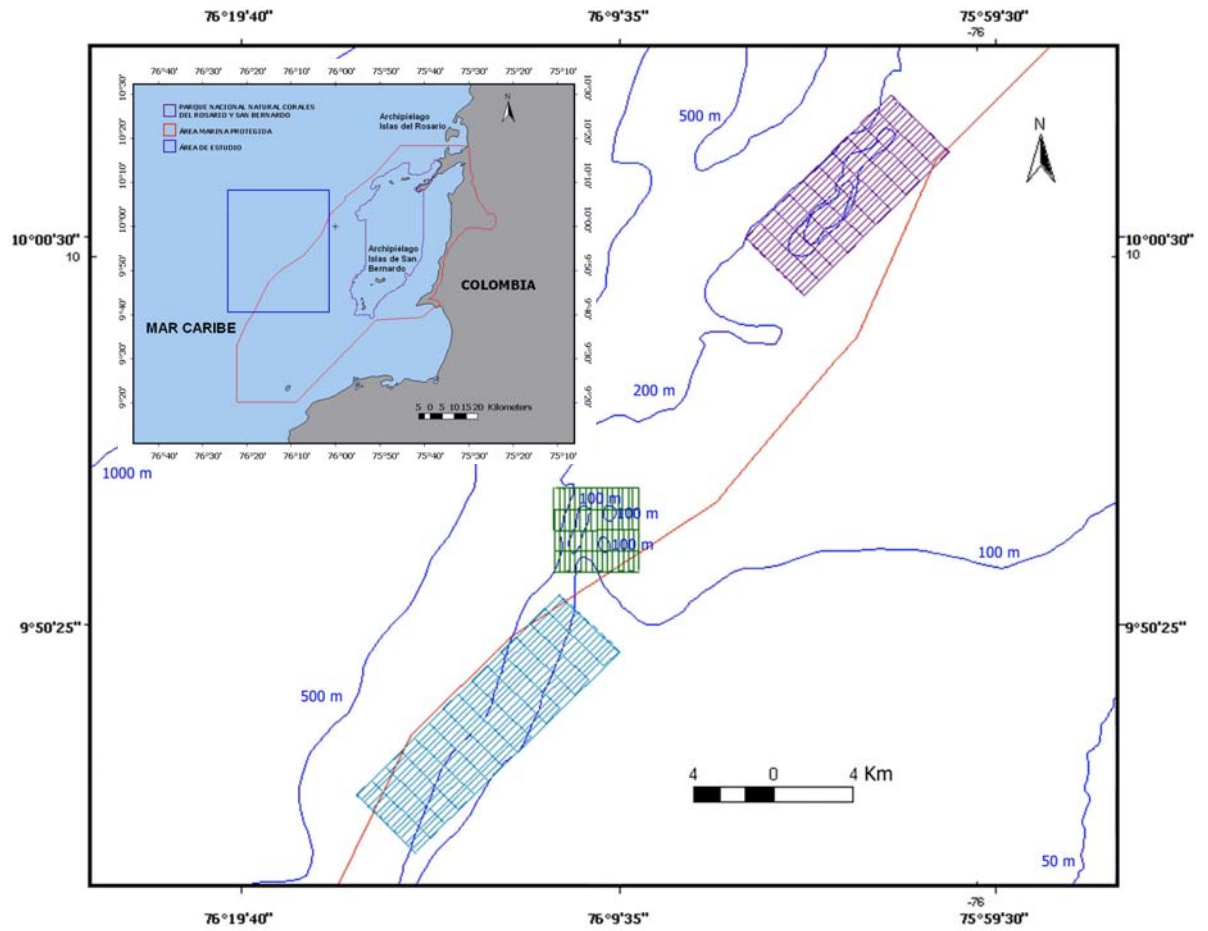


Figura 4. Sectores de muestreo. A de 56 km² (recuadro azul); B de 16 km² (recuadro verde) C de 40 km² (recuadro morado). Límite del AMP ARSB (Línea roja). Arriba-izquierda se muestra la ubicación general del área de estudio. Generado a partir cartografía base tomada del LABSI.

3. METODOLOGÍA

Para lograr los objetivos del proyecto se realizó un crucero (MARCORAL) de 11 días de duración, entre el 22 de abril y el 2 de mayo del año 2005, abordo del B/I ANCÓN del INVEMAR, con las siguientes dimensiones: 18,15 m de eslora, 5 m de manga y 1,9 de calado (Figura 5). Los datos batimétricos se obtuvieron empleando una ecosonda de 12 y 200 kHz, sobre un área aproximada de 112 km² para el sector de San Bernardo.



Figura 5. Buque de investigación B/I Ancón (INVEMAR, 2004).

Se realizaron barridos para los tres sectores, en el A: de 17 transeptos principales (TP) de 14 km de longitud mas 15 transeptos de comprobación (TC) de 4 km de longitud; en el B: 17 TP de 4 km con 5 TC de 4 km; y en el C: 17 TP de 10 km mas 11 TC de 2,5 km. La distancia entre los TP fue de 0,25 km y la de los TC de 1 km (Figura 4). Para obtener una batimetría y los perfiles de fondo a

una escala 1:50000 y un total de 600 km lineales de batimetría y perfiles de sedimentos. La velocidad de barrido fue de 4 nudos, donde se tomaron datos de dragados (54) y arrastres (1) sobre el lecho marino para los 3 sectores.

3.1. RECOLECCIÓN DE DATOS DE DIVERSIDAD

3.1.1. **Información secundaria:** la información recopilada en el área de estudio se hizo a partir de los trabajos de MACROFAUNA I y II para el Caribe colombiano, de los cuales se extrajo un listado de todas las especies de corales, crustáceos, equinodermos, moluscos y peces colectadas en 17 estaciones de la ecorregión ARCO, la cual incluye el AMP ARSB, con profundidades que oscilan entre los 70 y los 520 m, se enuncia esta profundidad ya que las estaciones de MACROFAUNA la

abarcan, pero los registros de las especies de corales formadores están entre 100 -300. localizadas geográficamente entre los 9° 16' 21" N, 76° 29' 37" W y los 10° 28' 7" N, 75° 42' 34" W (Figura 6, Tabla 6). La identificación de las especies estuvo a cargo del Grupo de Taxonomía, Sistemática y Ecología Marina del Museo de Historia Natural de Colombia - INVEMAR.

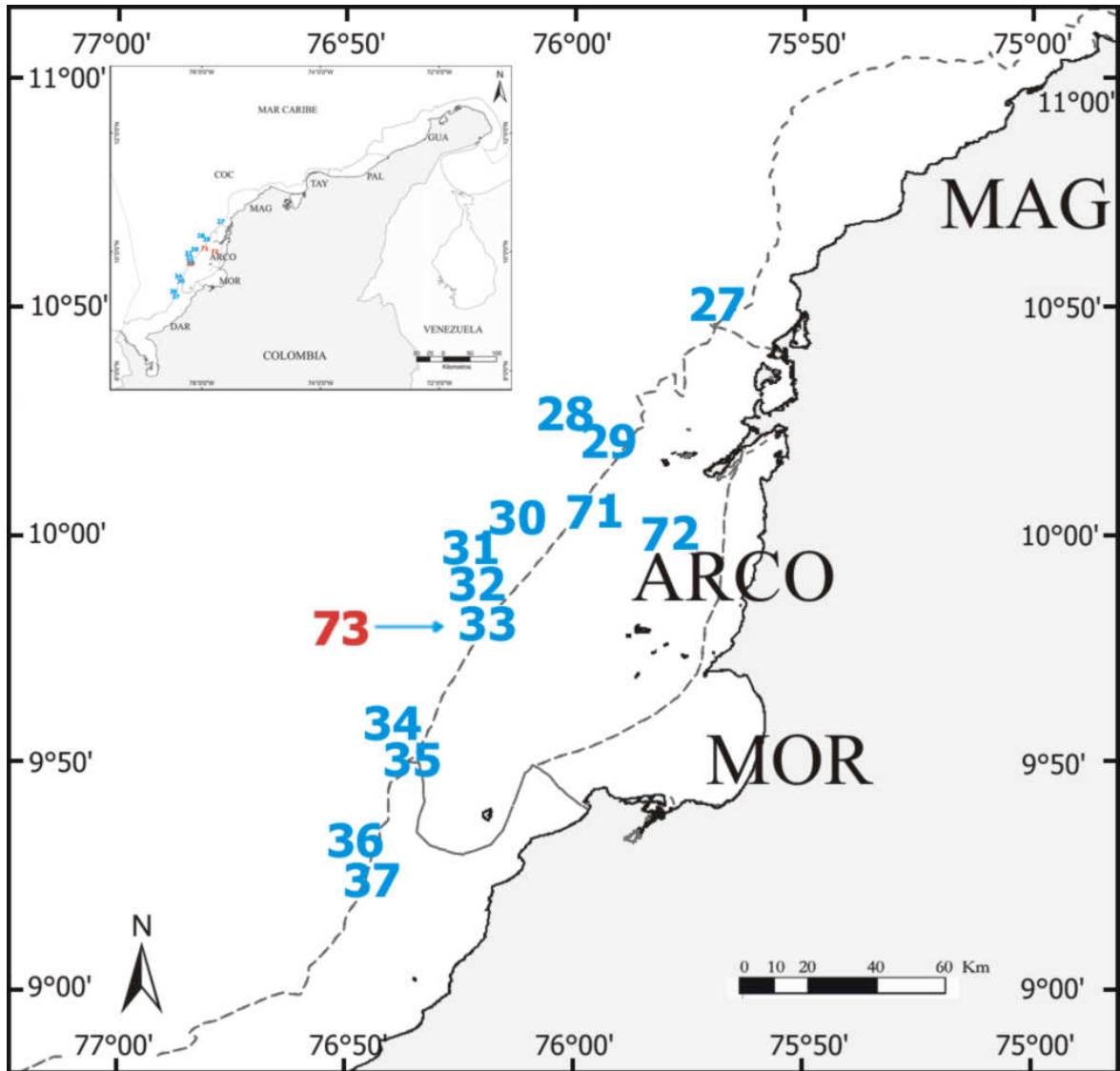


Figura 6. Ubicación de las estaciones de muestreo de los trabajos de INVEMAR (INV) MACROFAUNA I y II, para el Caribe colombiano realizadas en la ecorregión ARCO y los sectores aledaños al AMP ARSB. INV 73 es la estación CORALES PROFUNDOS (Rojo).

Tabla 6. Ubicación de las estaciones de muestreo con su respectivo número de arrastre de las expediciones INVEMAR (INV) MACROFAUNA I y II realizadas en la ecorregión ARCO y sectores aledaños al AMP ARSB, las que están seguidas de una B hacen referencia a las que se encuentran bajo la misma cuadrícula de la grilla de muestreo.

ESTACIÓN	ARRASTRE	PROFUNDIDAD
		Mín – Máx (m)
INV 027	E47-48	280-282
INV 028	E77-78	461-510
INV 029	E75-76	296
INV 030	E73-74	280-284
INV 031	E71-72	490-520
INV 032	E69-70	496-520
INV 032B	E149-150	500-507
INV 033	E67-68	269-317
INV 033B	E153-154	270-280
INV 034	E65-66	498-500
INV 035	E63-64	286-313
INV 036	E61-62	490-498
INV 037	E59-60	288-315
INV 071	E144-155	150-151
INV 072	E147-148	89
INV 072B	E151-152	70
INV 073	E155-156	155-160

Adicionalmente a esto se generaron índices de riqueza, uniformidad y diversidad, tal como se indica posteriormente. Con esto se contrastó la diversidad de los sectores con comunidades de corales azooxantelados, con otras donde no se encuentren presentes estas comunidades.

Para la información acerca de la importancia económica, se evaluó aquella correspondiente a las pesquerías que tienen alguna influencia sobre el área de estudio. Para esto se acudió al grupo de investigación "Evaluación y Ecología Pesquera" de la Universidad del Magdalena. Se buscó con esto llegar al conocimiento sobre el descarte en las diferentes artes de pesca, principalmente la de arrastre, los sitios donde esto sucede, las cantidades obtenidas, las frecuencias de pesca, las profundidades a las cuales se trabaja y las especies relacionadas con este tipo de explotación comercial.

Para poder entender la estructura de las comunidades de corales azooxantelados presentes en el Archipiélago de las Islas del Rosario y San Bernardo, se calcularon indicadores ecológicos con técnicas univariadas basadas en la abundancia de especies (diversidad, riqueza y uniformidad). Para ello se empleó el programa PRIMER (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research)

(Clarke y Warwick, 1994). Se usaron los datos obtenidos por el crucero B/I Ancón durante la expedición MACROFAUNA sobre los grupos de cnidarios, crustáceos, equinodermos, moluscos y peces, posteriormente se procesaron dos tipos de análisis: el ecológico y el espacial, para interpretar el comportamiento de las especies.

Diversidad y abundancia: la diversidad se consideró como el número de especies y la proporción de individuos por especie en cada una de las colectas. Diversidad (Shannon-Wiener):

$$H' = - \sum (P_i * \text{Log}(P_i)) \text{ (Carr, 1996).}$$

Donde P_i = Número de individuos de cada especie en una colecta.

Riqueza de Margalef: para el cálculo de la riqueza de especies como componente de la diversidad, se usó la siguiente expresión que ha sido utilizada por Margalef (1982):

$$D = (S-1)/\text{Log}(N) \text{ (Carr, 1996).}$$

Donde S es el número total de especies y N el número total de individuos.

Uniformidad de Pielou: el índice de uniformidad obtiene información que permite estimar la desviación de la diversidad máxima e indirectamente estima la abundancia relativa. El rango varía entre 0 y 1, siendo cero (0) el reflejo de la mayor uniformidad y uno (1) la uniformidad nula de la muestra. Se expresa como sigue:

$$J' = H'/\text{Log}(S) \text{ (Carr, 1996).}$$

Donde H' es la diversidad total de especies, y S el número total de especies.

Análisis de clasificación: el análisis de clasificación se realizó aplicando el índice de similaridad de Bray-Curtis, a partir de los datos de abundancia (número de individuos) transformados en presencia/ausencia, produciendo configuraciones bidimensionales de similaridad (Carr, 1996).

Análisis de ordenación: el análisis de ordenación se efectuó mediante la técnica del NMDS y a partir de la similaridad utilizada previamente en el análisis de clasificación se construyeron configuraciones bidimensionales, basadas en el proceso computacional enunciado por Carr (1996). Para medir el grado de distorsión involucrado en la "compresión" de los datos dimensionales

utilizados en la ordenación NMDS, se utilizan los criterios señalados al respecto por Clarke y Warwick (1994). Valores de estrés menores de 0,05 implican una excelente representación, valores de estrés menores de 0,1 corresponden a una buena ordenación, sin una probabilidad real de llegar a una mala interpretación, valores de estrés menores a 0,2 aún proporcionan una imagen bidimensional potencialmente útil, aunque se recomienda que cualquier conclusión se complemente con otra técnica y valores de estrés mayores a 0,3 indica que los puntos son muy cercanos para ser arbitrariamente ubicados en una ordenación espacial de dos dimensiones (Medina, 2002). Los atributos físicos del ambiente como la batimetría, la sedimentología y el relieve de suelo marino se evaluaron en el estudio de Martínez (en preparación) titulado "Caracterización sedimentológica y de procesos en los alrededores del Archipiélago de San Bernardo", el cual se enmarca bajo el mismo macroproyecto.

3.1.2. Información primaria: las muestras obtenidas por el crucero B/I Ancón durante la expedición MARCORAL, se separaron en el laboratorio en grupos principales (crustáceos, peces, moluscos, briozoos, braquiópodos, foraminíferos, equinodermos y cnidarios). Posteriormente se ubicaron taxonómicamente los corales azooxantelados por especies y se agruparon por su forma de crecimiento, se seleccionaron los individuos que son más representativos en la formación de un arrecife coralino, los cuales fueron agrupados como ensamblaje de corales profundos, para generar una predicción espacial de estos, basada en las condiciones ambientales bajo las cuales fueron registrados, plasmados en coberturas de batimetría, pendiente, diferencia de profundidad "rugosidad", respuesta de la ecosonda de baja frecuencia "textura", geomorfología y facies sedimentarias que a lo largo del texto se explican con mayor claridad.

3.2. OBJETOS DE CONSERVACIÓN

En el macroproyecto MARCORAL se registró que para los sectores A y B (Figura 7), en las estaciones de dragas 3, 12, 28, 31 y 32, hubo la mayor abundancia de corales azooxantelados, entre el 65-75% de la muestra (Reyes *et al.*, 2006), razón por la cual se sugirió que en estas estaciones es donde mejor se encuentran representados los objetos de conservación, además las características de estas zonas posiblemente favorezcan un mejor desarrollo de la fauna acompañante.

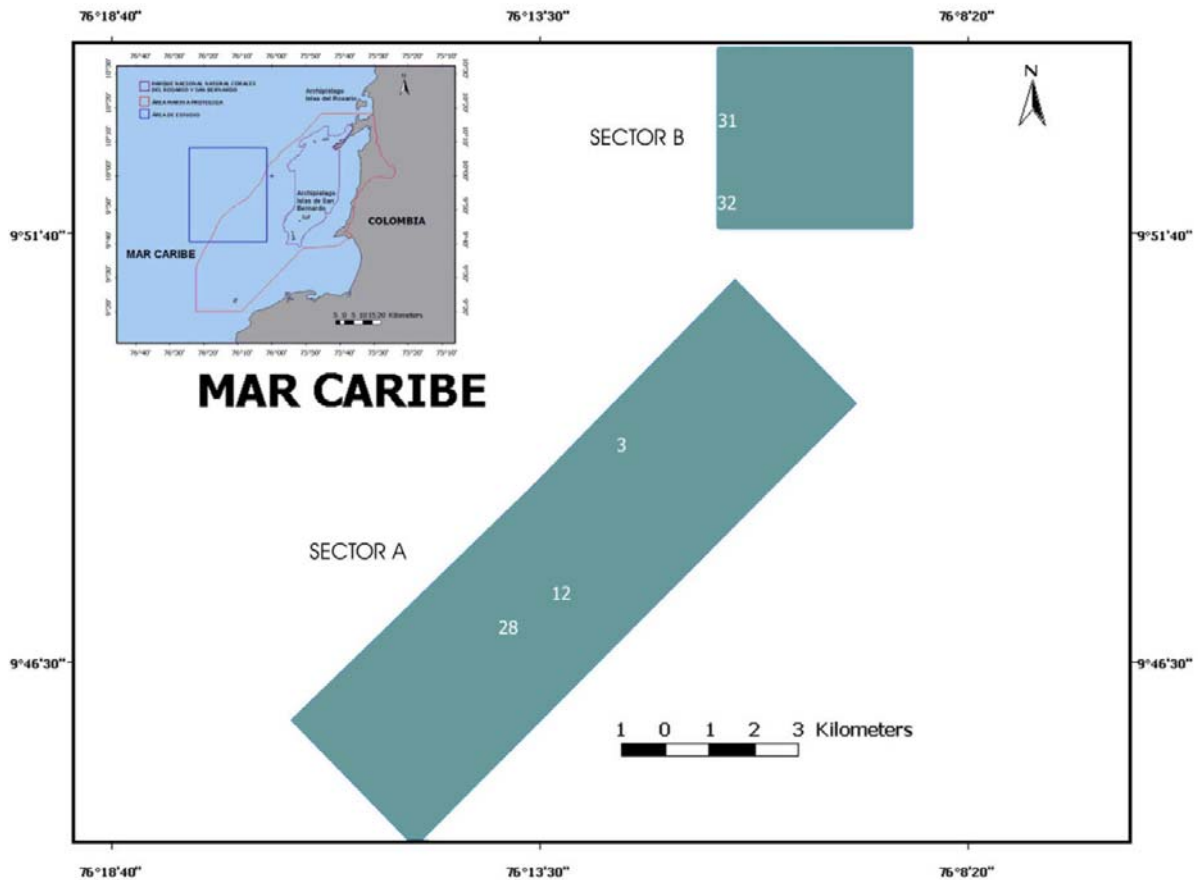


Figura 7. Estaciones con mayor diversidad de especies registradas en el crucero MARCORAL. Generado a partir cartografía base tomada del LABSI.

3.3. GENETIC ALGORITHM FOR RULE-SET PREDICTION (GARP)

Con el fin de realizar una predicción espacial de la posible distribución de los objetos de conservación, se generó una correlación entre la presencia de las especies y las seis coberturas mediante el programa DESKTOPGARP (Figura 8). La predicción se realizó en dos de los tres sectores del área de estudio (A y B), el sector C fue descartado al no poseer la suficiente información sobre las coberturas utilizadas para la predicción. Las evidencias sugieren que las especies de corales azooxantelados pueden formar bancos de coral y que por tanto es importante realizar una predicción de donde se pueden encontrar (Reyes *et al.*, 2005).

Mediante el software GARP se modelaron las distribuciones potenciales del ensamblaje CORALES PROFUNDOS, buscando asociaciones no aleatorias entre las características ambientales de localidades donde se conoce la ocurrencia de las especies (coberturas) versus la totalidad del área de estudio. Para que el programa pueda correr necesita que las coberturas tengan: un mismo tamaño de celda, un mismo tipo de coordenadas (geográficas o planas) y un mismo valor para los píxeles que carecen de información (DesktopGarp, 2006).

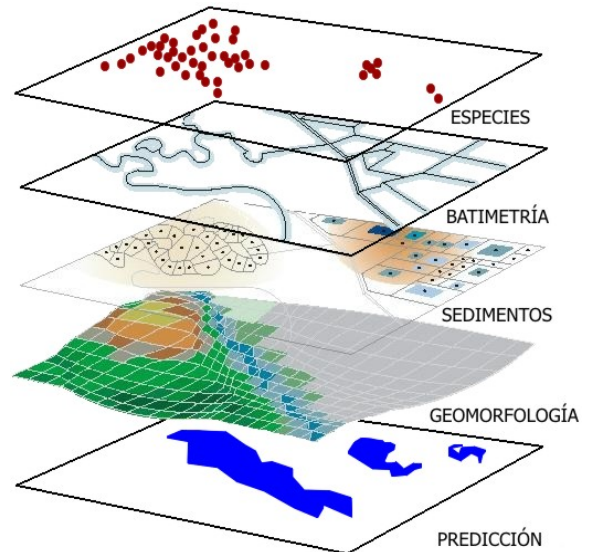


Figura 8. Ilustración de las diferentes capas que se emplearon para la predicción de los corales azooxantelados. Como ejemplo gráfico, no se incluyeron todas las coberturas ambientales usadas por el DesktopGarp. Tomado y modificado de ESRI (1998).

Los datos obtenidos con base en la respuesta de la ecosonda, tiempo que tarda un haz de ultrasonidos generados por la ecosonda en viajar desde su emisión, chocar contra el lecho marino y regresar, se clasifican en dos: de alta frecuencia (AF) de 200 Khz., con una longitud de onda menor, de menor penetración y de baja frecuencia (BF) de 12 Khz., lo contrario a los AF. A partir de esto se obtuvieron las coberturas para la predicción espacial de batimetría, pendiente, rugosidad, geomorfología y textura.

3.3.1. Coberturas

Batimetría: para conocer la profundidad, se interpreta la respuesta de ecosonda de alta frecuencia (AF), la cual refleja a cuantos metros se encuentra alejada la embarcación del lecho marino, en un punto determinado. Cada uno de los ecos de la ecosonda se georeferenciaron mediante un GPS diferencial, posteriormente esta información fue procesada y analizada para producir la cobertura.

Pendiente: es la inclinación del lecho marino expresado en grados, con un rango que varía entre 0° llano hasta 90° vertical, generada a partir de la profundidad.

Rugosidad: se interpretó como la irregularidad del lecho marino, a partir la diferencia entre cada dato puntual de la profundidad.

Geomorfología: se tomó el conjunto de datos de la profundidad para modelar las posibles geoformas del lecho marino, de acuerdo a las diferencias encontradas en la continuidad de estos puntos.

Textura: la respuesta de la ecosonda de baja frecuencia (BF) permitió estimar un lecho marino blando o compacto dependiendo de si la onda emitida por la ecosonda penetraba el sustrato o no.

Facies: el análisis sedimentológico y la interpretación de los datos tomados con draga en cada uno de los sectores permitió establecer esta cobertura.

Mask: se generó una cobertura con las mismas características que las demás pero sin información, la cual dará el área de predicción, si los puntos (posición geográfica de las especies) no se encuentran dentro de esta, no generará ningún resultado.

Mediante la fase preliminar *Dataset Manager* del GARP (Figura 9), se evaluó si las coberturas ambientales obtenidas, tenían las mismas características para generar la predicción, la cuales previamente fueron exportadas a ASCII *raster grid*, e importadas en ArcView 3.1 (ESRI, 1998). **“Si las coberturas no tienen las mismas características y atributos el programa no las deja cargar”** (DesktopGarp, 2006). Por último la modelación final de la predicción se generó bajo la plataforma DesktopGarp (Figura 10).

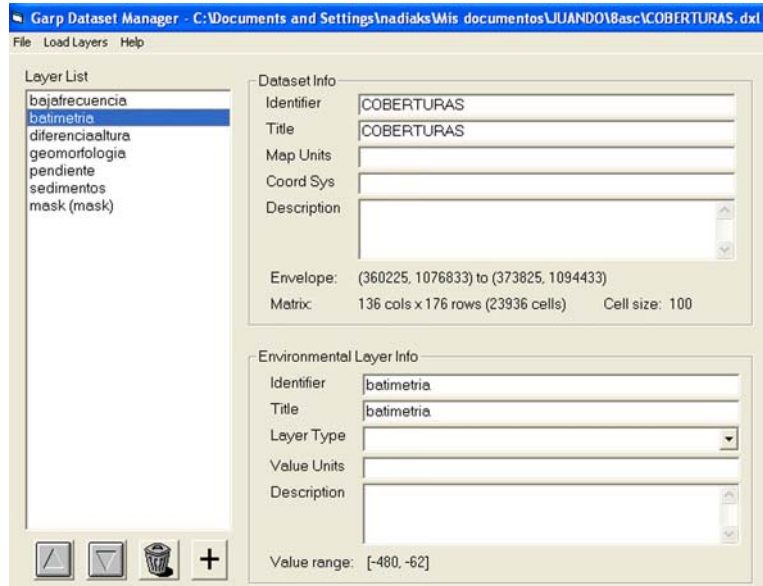


Figura 9. Primera fase de GARP, en la cual se evaluó si las coberturas ambientales tenían las mismas características para generar la predicción.

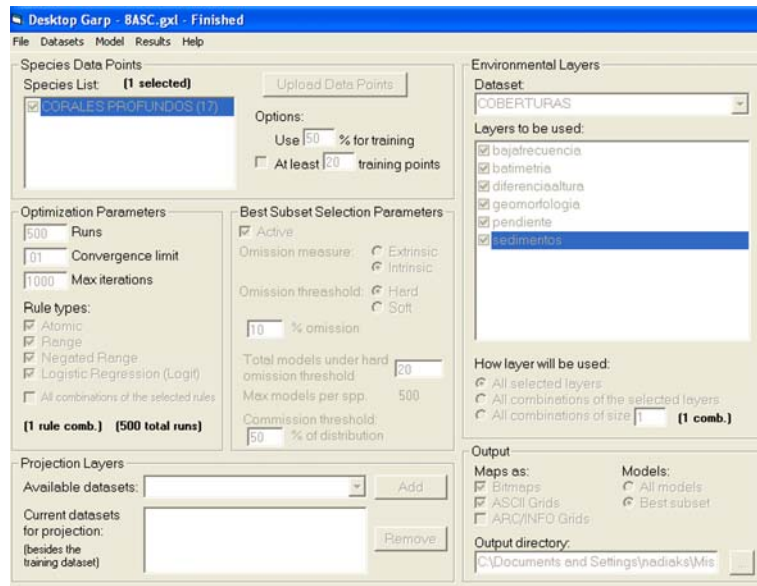


Figura 10. Plataforma DesktopGarp, la cual toma las coberturas ambientales, junto con las coordenadas de las especies para generar las predicciones espaciales en archivos .bmp y .asc.

3.4. DEFINICIÓN DE CRITERIOS PARA ÁREAS MARINAS PROTEGIDAS

La zonificación y la priorización son dos fases para la identificación y delimitación de las unidades de manejo en un proceso que incluye la definición de criterios, aplicación de los criterios a las unidades del paisaje, análisis integral de los criterios, definición de categorías de manejo, cuya meta final es el establecimiento del plan de manejo del AMP. Esto dentro de un marco para conservación sistemática.

Los criterios de identificación y selección se basan en la compilación de INVEMAR (2003), de los trabajos de Salm y Clark (1984); Kelleher y Kenchington (1991); Kelleher *et al.* (1995); Roberts y Hawkins (2000); Salm *et al.* (2000); Airamé *et al.* (2003); Roberts *et al.* (2003a); Roberts *et al.* (2003b). Después de una amplia revisión bibliográfica de los diferentes criterios expuestos en el párrafo 1.6 del marco teórico, se precisaron los más relevantes para las AMP. A partir de los anteriores, se seleccionaron cuales tienen una mayor relación con los datos disponibles y las características del área de estudio. Además con los datos recolectados y los análisis hechos a las comunidades de corales azooxantelados, se determinó cuáles de los criterios preestablecidos pueden ser usados como herramienta para la priorización de la(s) zonas más importantes en el área de estudio basado en los valores diversidad e importancia ecológica en favor de la preservación de estas comunidades. En este caso, los criterios para la identificación que están enfatizados hacia la conservación deben tener en cuenta amenazas, factibilidad, influencias, protección existente, entre otras. Por último se identificaron los vacíos de información para estas comunidades.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

De manera general, en la primera parte se establecen los objetos de conservación con base en los parámetros de diversidad (abundancia, riqueza y uniformidad) que albergan las comunidades coralinas profundas en relación a las 17 estaciones de MACROFAUNA I y II, que fueron realizadas dentro y alrededor del área de estudio. En este análisis no se profundiza en la ecología de los diferentes grupos taxonómicos (corales, crustáceos, equinodermos, moluscos y peces)

Luego, se hizo la predicción espacial de estos objetos de conservación con base en las muestras obtenidas en el macroproyecto MARCORAL, sobre los dos sectores (A y B) específicos de esta investigación. Finalmente, se presenta una descripción detallada de los criterios que pueden aplicarse a las comunidades coralinas profundas en el marco de las AMP.

4.1. DIVERSIDAD (Riqueza y composición)

El análisis de biodiversidad se realizó con base en la abundancia de las especies de moluscos, peces, crustáceos y equinodermos además de los cnidarios, excepto las especies, *Anomocora fecunda*, *Cladocora debilis*, *Eguchipsammia cornucopia*, *Madracis asperula*, *Madracis myriaster* y *Madrepora carolina*, pues estas se constituyen como parte del hábitat para las especies de los grupos mencionados. Además el método de colecta ocasiona la fragmentación de las colonias y por ende, no es posible realizar una estimación adecuada de su abundancia.

De acuerdo con estos datos, alrededor del área de estudio se recolectaron un total de 11685 ejemplares de todos los taxa, distribuidos en 528 especies, pertenecientes a 238 familias (Anexo B - K). En general, la composición observada fue la siguiente:

- ✓ Los moluscos fueron el grupo con mayor cantidad de familias (81) y de especies (154). Las familias Cocculinidae (8 especies) y Turridae (8 especies), fueron las de mayor riqueza (Anexo G-I).

- ✓ Los peces representaron el segundo grupo con mayor abundancia y riqueza con 63 familias y 129 especies, donde la familia Scorpaenidae con 11 especies, fue la de mayor riqueza (Anexo J-K).
- ✓ Los crustáceos presentaron 110 especies representadas en 40 familias dominadas principalmente por Galatheididae (16 especies) (Anexo C-D).
- ✓ En los equinodermos se presentaron 39 familias y 97 especies, la familia Ophiuridae presenta 13 especies (Anexo E-F).
- ✓ Por último, los cnidarios (no formadores de arrecifes), presentaron los menores valores en cuanto al número de especies (38) y familias (15); la familia Caryophylliidae se diferenció significativamente de las otras por presentar especies en todas las estaciones (Anexo B).

De acuerdo a la estimación de la riqueza (Figura 11), la estación INV 73 (CORALES PROFUNDOS-CP) fue significativamente mayor, ya que posee más del doble de especies (142 en total) en comparación con las demás, representando más del 50% de especies en relación con las otras estaciones que el número de especies osciló entre 45 (INV 72) y 95 (INV 33B). Adicionalmente no presenta ninguna especie dominante y su abundancia no se ve sesgada hacia ninguna especie en particular, siendo así la más representativa (Tabla 7), a diferencia de las estaciones INV 33B e INV 35, que deben sus altos valores principalmente a las dos especies *Parvamussium pourtalesianum* (Mollusca: Pectinidae) y *Deltocyathus calcar* (Scleractinia: Caryophylliidae).

La gráfica muestra cómo se comporta la estructura de la comunidad, para las 17 estaciones en los cinco grupos biológicos. La abundancia de cada uno de ellas, definida en términos de número de individuos (Figura 12), fue mayor en las estaciones INV 33B, INV 35, y CP con 1389, 1229 y 1223 respectivamente. Los primeros dos valores pueden estar influenciados por especies dominantes como *P. pourtalesianum*, presenta 367 individuos que representan el 38% del grupo de los moluscos y el 26% de un total de 1389, para la estación INV 33B (Anexo H). *P. pourtalesianum* es un bivalvo de la familia Pectinidae, es uno de los más representativos en los fondos blandos del Caribe colombiano, abundante en la franja de los 300 y 500 m (Gracia, 2000).

En la estación INV 35 el coral solitario *D. calcar* registra los valores más altos de abundancia con 734 individuos que representan el 96% de los cnidarios y el 60% de un total de 1229 (Anexo B). *D. calcar* pertenece a la familia Caryophylliidae y presenta un amplio rango batimétrico entre los 80 y 675 m (Cairns, 1979). Para Colombia *D. calcar* solo se conocía en las Islas del Rosario (Prahl y Erhardt, 1988), y durante la expedición MACROFAUNA se colectó a lo largo de todo el Caribe colombiano. De las 26 especies de corales escleractínios que se encontraron en estos cruceros, *D. calcar* presentó el ámbito de distribución más amplio (Lattig, 2000).

Los índices de diversidad estimados para las 17 estaciones del crucero MACROFAUNA, son relativamente bajos para casi todas las estaciones, a diferencia de los registrados para la estación CORALES PROFUNDOS, que presenta valores significativamente altos con 3,87 en el índice de Shannon; 19,83 en la riqueza de Margalef y de 0,78 en la uniformidad de Pielou. Los resultados sugieren que la estación "Corales profundos" es ambientalmente heterogénea en cuanto a: tipo de sustrato, variabilidad de refugios, oferta alimenticia, recursos disponibles y a la facilidad para la reproducción.

De otra parte, aunque la estación INV 31 presenta los valores más altos de diversidad (3,94) y uniformidad (0,90), presenta un número significativamente más bajo de especies (80) y de individuos (266) comparada con la estación CP (Tabla 7).

De esta manera, se puede considerar que la estación CORALES PROFUNDOS es la de mayor importancia ecológica comparada con las otras 16 estaciones, al poseer la mayor riqueza, el número más alto de especies y de individuos, también sustentada en su alta uniformidad y valor de diversidad (Tabla 7). Esta información se tuvo en cuenta para los criterios biológicos que se proponen en el numeral 4.4.

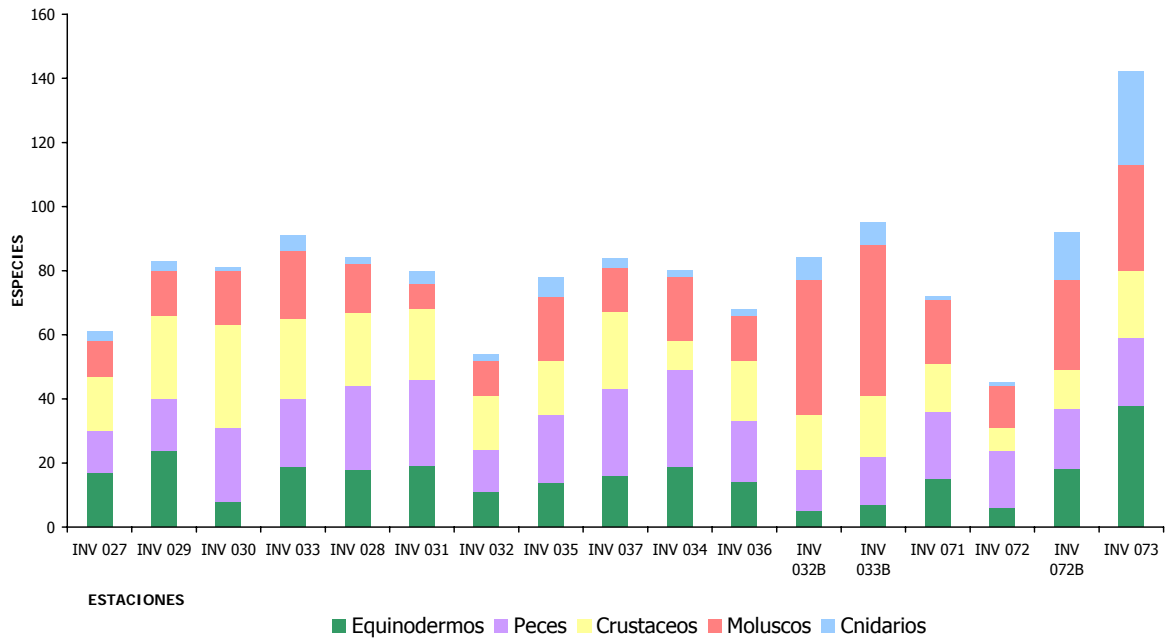


Figura 11. Riqueza total de las 17 estaciones para los grupos cnidarios, crustáceos, equinodermos, moluscos y peces.

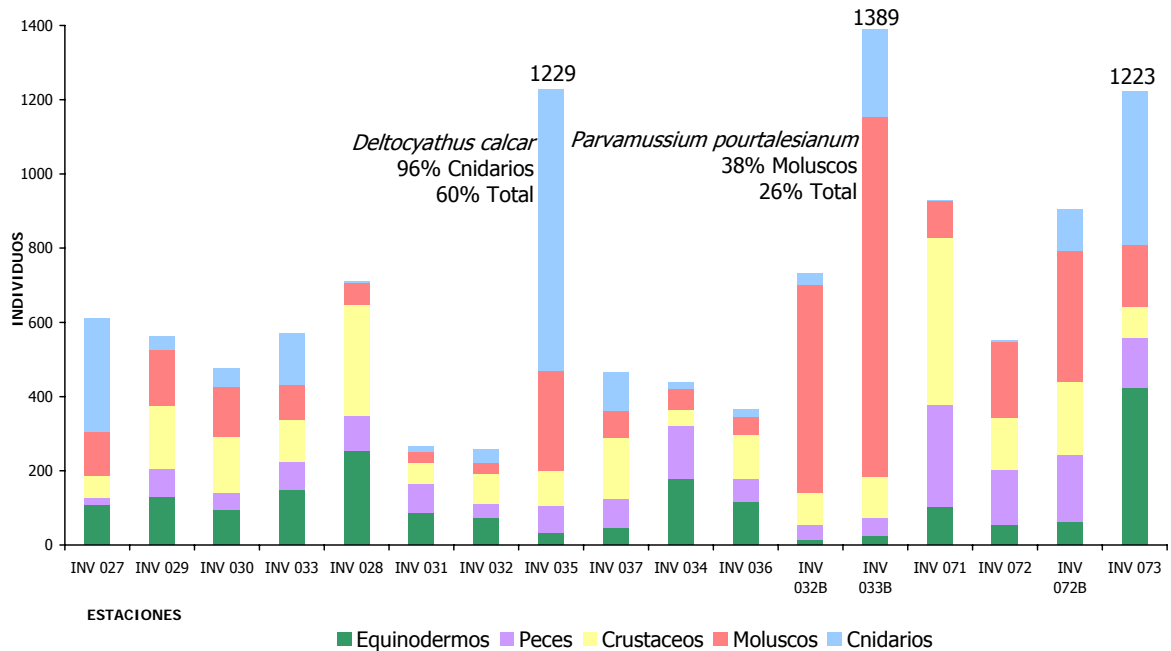


Figura 12. Abundancia total de las 17 estaciones para los grupos cnidarios, crustáceos, equinodermos, moluscos y peces.

Tabla 7. Valores de: número total de especies (**S**), número total de individuos (**N**), riqueza de Margalef (**d**), la uniformidad de Pielou (**J'**) y la diversidad de Shannon-Wiener (**H'**), para las 17 estaciones de los grupos cnidarios, crustáceos, equinodermos, moluscos y peces; con su respectivo número de arrastre y profundidad.

ARRASTRE	PROFUNDIDAD (m)	ESTACIÓN	S	N	d	J'	H'(loge)
E47-48	281	INV 027	61	612	9.35	0.53	2.20
E77-78	486	INV 028	84	711	12.64	0.75	3.32
E75-76	296	INV 029	83	562	12.95	0.79	3.48
E73-74	282	INV 030	81	477	12.97	0.74	3.26
E71-72	500	INV 031	80	266	14.15	0.90	3.94
E69-70	505	INV 032	54	257	9.55	0.82	3.28
E149-150	504	INV 032B	84	733	12.58	0.65	2.90
E67-68	307	INV 033	91	571	14.18	0.77	3.49
E153-154	275	INV 033B	95	1389	12.99	0.63	2.87
E65-66	499	INV 034	80	438	12.99	0.83	3.66
E63-64	300	INV 035	78	1229	10.82	0.42	1.82
E61-62	494	INV 036	68	367	11.35	0.84	3.55
E59-60	302	INV 037	84	465	13.51	0.78	3.45
E144-155	150	INV 071	72	929	10.39	0.80	3.41
E147-148	89	INV 072	45	551	6.97	0.72	2.75
E151-152	70	INV 072B	92	905	13.37	0.79	3.57
E155-156	157	INV 073	142	1223	19.83	0.78	3.87

4.1.1. Análisis de clasificación y ordenación: el análisis de clasificación revela que existe un gradiente definido por profundidad formando 2 grupos de los arrastres: 500 m, 300 m y las estaciones menores de 200 m (plataforma continental), con cerca del 30 % de similaridad (Figura 13). En el análisis se observó el mismo patrón de agrupación (Figura 14).

El grupo de 500 m está compuesto por seis estaciones y se caracteriza porque en todas ellas se registran las especies exclusivas *Nezumia aequalis* (Macrouridae) (Anexo K), *Pleoticus robustus* (Solenoceridae) (Anexo D) y *Poromya margarita* (Poromyidae) (Anexo H). En el análisis de ordenación, se observa que las estaciones del grupo de 500 m se concentran hacia la parte superior de gráfico (Figura 14). La estación INV 32B aparece alejada del grupo debido al alto valor de abundancia para *Deltocyathus calcar*.

El grupo de 300 m está conformado por siete estaciones, se caracteriza porque las especies *Deltocyathus calcar* y *Parvamussium pourtalesianum*, representan más del 97 % de la abundancia total en relación a todas las estaciones y por la presencia de las especies exclusivas *Metanephrops binghami* (Nephropidae) (Anexo C), *Neobythites gilli* (Ophidiidae) (Anexo K) y *Plesionika tenuipes*

(Pandalidae) (Anexo D) para seis de las siete estaciones. En el análisis de ordenación este grupo tiende a ubicarse en la parte inferior del gráfico (Figura 14). Sin embargo, la estación INV 33B aparece alejada del grupo, posiblemente por el alto valor de abundancia de la especie *Parvamussium pourtalesianum* (Anexo H).

Este patrón de agrupación por profundidades, concuerdan con los obtenidos por Cruz (2001), Gracia (2000), Benavides-Serrato y Borero-Pérez (2000), Roa (2000), encontrándose el mismo patrón de agrupación de taxones particulares como: crustáceos, moluscos, equinodermos y peces en los fondos blandos del Caribe colombiano.

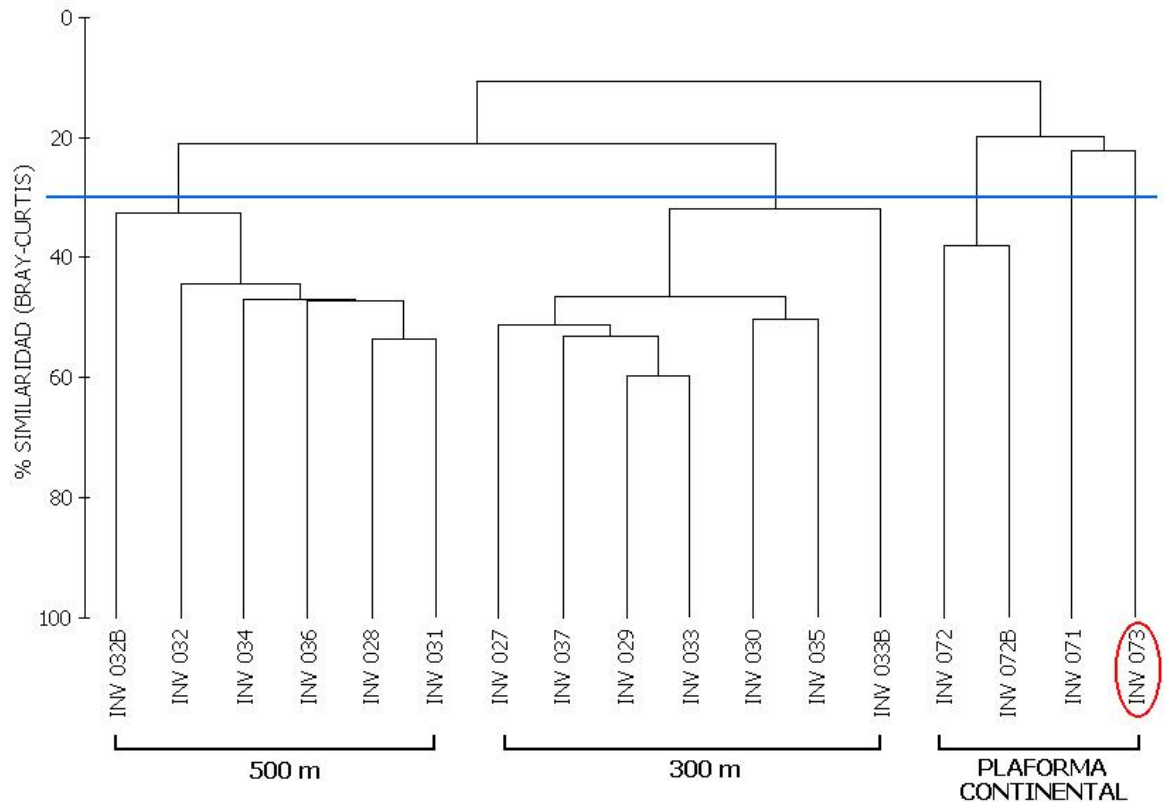


Figura 13. Dendrograma de clasificación de las 17 estaciones del muestreo, utilizando el índice de Bray Curtis, a partir de la matriz de datos transformados en presencia/ausencia, de los grupos de cnidarios, crustáceos, equinodermos, moluscos y peces. Las líneas de abajo corresponden a los grupos considerados y la línea azul al nivel de similitud al que se formaron. Cada grupo con la profundidad aproximada del arrastre 300 m, 500 m y menor de 200 m (Plataforma continental). El círculo (rojo) resalta la estación significativamente más importante.

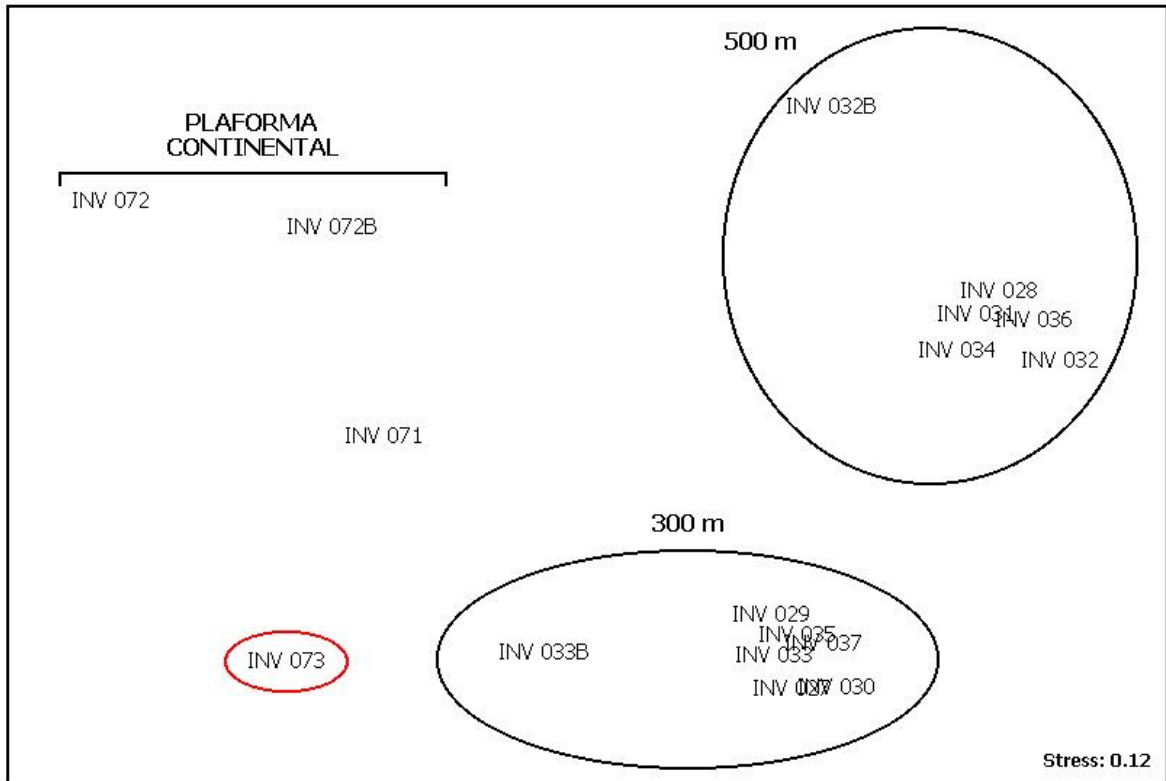


Figura 14. Análisis de ordenación (NMDS) de las 17 estaciones del muestreo, utilizando el índice de Bray Curtis, a partir de la matriz de datos transformados en presencia/ausencia, de los grupos de cnidarios, crustáceos, equinodermos, moluscos y peces. Los círculos grandes corresponden a la separación de los grupos formados en el análisis de clasificación (coeficiente de estrés 0,12). Cada grupo con la profundidad aproximada del arrastre 300 m, 500 m y menor de 200 m (Plataforma continental). El círculo (rojo) resalta la estación de Corales Profundos.

De otra parte, las estaciones localizadas en la plataforma continental, no revelaron ningún tipo de agrupación. En el análisis de ordenación tampoco hay evidencia de la formación de un grupo para las estaciones de la plataforma (Figura 14, izquierda-arriba). Sin embargo, las estaciones por encima de los 100 m pueden conformar un grupo como el que se sugiere en el dendrograma, conformando un subgrupo el de las estaciones INV 72 e INV 72B, las cuales además se encuentran cercanas espacialmente (Tabla 7). La estación INV 71 no se agrupa con las estaciones anteriores posiblemente por su diferencia en la profundidad y no se acerca a la estación CP porque únicamente comparten el 10 % de las especies (Anexo B-K).

Ahora bien, se sugiere que la estación CORALES PROFUNDOS (Figura 14, círculo rojo) tiene gran importancia ecológica debido a su ubicación en el borde de la plataforma, lo cual privilegia la

variedad de ambientes ofrecidos por los sustratos del talud y de la plataforma continental. Esta irregularidad favorece el asentamiento de larvas de corales profundos constructores, permitiendo la alta diversidad de especies, además de la presencia de más del 25 % de las especies que no están en ninguna otra estación (Anexo B-K). En vista de este alto número de especies se puede considerar la estación como un ambiente particular dentro de los fondos analizados. Se asume que las comunidades de corales profundos coloniales de profundidad de la estación CP son las que conforman el hábitat de la zona, permitiendo albergar la biodiversidad del lugar ya que ofrecen a la fauna un hábitat esencial para las especies, encontrando áreas protección ante depredadores, zonas de alimentación, el desove y cría (Krieger, 2001; Tunesi *et al.*, 2001), estos corales son la matriz y el pináculo de desarrollo de una amplia variedad de individuos (fauna acompañante).

4.2. OBJETOS DE CONSERVACIÓN

Las especies de corales profundos: *Anomocora fecunda* (De Pourtalès, 1871), *Cladocora debilis* Milne Edwards & Haime, 1849, *Eguchipsammia cornucopia* (De Pourtalès, 1871), *Madracis asperula* Milne Edwards & Haime, 1850, *M. myriaster* (Milne Edwards & Haime, 1849) y *Madrepora carolina* (De Pourtalès, 1871) (Figura 15), fueron elegidos como objetos de conservación, al considerarse como especies potencialmente constructoras de arrecifes, además su crecimiento ramificado y estructura tridimensional, favorecen que alberguen una alta biodiversidad de especies (fauna asociada) (Reyes *et al.*, 2005). Estas especies se tomaron como un ensamblaje (objetos de conservación de filtro grueso) para realizar la predicción espacial en el área de estudio.

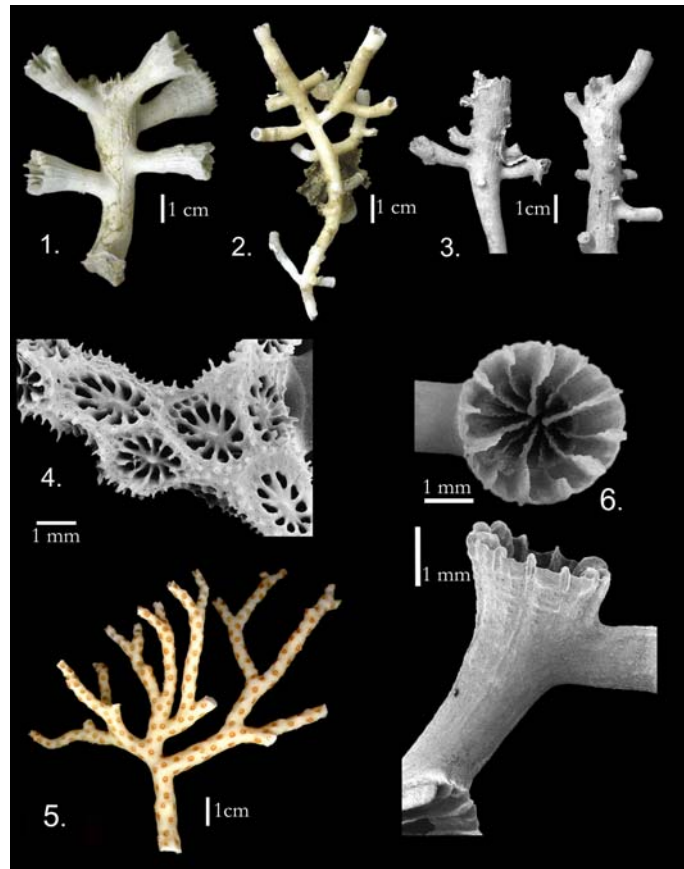


Figura 15. Objetos de conservación (Corales profundos) base para la predicción espacial, 1. *Anomocora fecunda*, 2. *Cladocora debilis*, 3. *Eguchipsammia cornucopia*, 4. *Madracis asperula*, 5. *Madracis myriaster* y 6. *Madrepora carolina* (Reyes y Santodomingo, 2005).

4.3. PREDICCIÓN ESPACIAL (GARP)

4.3.1. **Batimetría:** el área de estudio se caracterizó por presentar profundidades que oscilan entre las 80 - 440 m de profundidad. El sector B se encuentra principalmente entre los 80 - 180 m, con valores aislados menores a 330 m al oeste, en donde se registraron la mayor concentración de especies para este sector. En el sector A, se observó una tendencia hacia los 80 - 180 m al este y al oeste de 180 - 320 m, mientras que una pequeña fracción hacia el costado S-W se ubicó por debajo de los 350 m (Figura 16).

4.3.2. **Pendiente:** en el área de estudio los grados de inclinación fluctuaron 0 - 20. El sector B tuvo un porcentaje entre los 0 - 6 grados, presentándose al oeste pendientes superiores a 6°. Para el sector A se observaron pendientes concentradas alrededor de los 5° – 11°, con algunos pocos puntos aislados mayores a los 12° (Figura 17).

4.3.3. **Rugosidad:** Los valores de rugosidad fluctuaron entre los 0 y 27 m. La tendencia general es menor a los 12 m; el sector A tiende a ser más homogéneo hacia el este con una diferencia de profundidad no mayor a uno (Figura 18).

4.3.4. **Textura:** la textura se estimó de manera indirecta partir de los valores de absorción de la ecosonda (ecostrenght). De tal forma que, en *fondos consolidados* la absorción de la onda es menor y la respuesta de la ecosonda es mayor (tiende a 0 dB), mientras que en *fondos no consolidados* la absorción de la onda por el fondo marino es mayor y por lo tanto, la respuesta de la ecosonda es menor (tendiendo a valores cercanos a -44 dB). Sin embargo, es importante tener en cuenta que la absorción de la onda por el fondo marino también puede estar influenciada por el fuerte oleaje y pendientes pronunciadas. El sector A, presenta el tipo de suelo menos consolidado al oeste (-32 a -44 dB). El resto del área registra valores entre los -12 y los -38 dB, con una leve porción de un sustrato consolidado al oeste del sector B (Figura 19).

4.3.5. **Geomorfología:** el área de estudio comprendió morfologías variables, expresadas principalmente en laderas cerca del borde de la plataforma continental. El sector B se caracterizó por la presencia de domos diapíricos asociados a una depresión (Reyes *et al.*, 2006). Se presentaron geoformas comunes para los sectores A-B, desde el borde de la plataforma sobre el talud en dirección SE-NW se observan una serie de canales y crestas siendo de menor extensión las del sector B, con una pendiente más elevada (Figura 20).

4.3.6. **Sedimentos:** Las facies sedimentarias predominantes en el área fueron arena lodosa biolitolclástico, arena lodosa litobioclástico, lodo arenoso litobioclástico, lodo arenoso litoclástico, lodo litobioclástico, lodo litoclástico (Figura 21, Tabla 8). Se caracterizaron por presentar granulometrías finas, principalmente lodos y estar compuestos principalmente por fragmentos bioclásticos como foraminíferos y micromoluscos con tamaños de arena fina, así como fragmentos de equinodermos, otros moluscos, briozoos y corales (Reyes *et al.*, 2006).

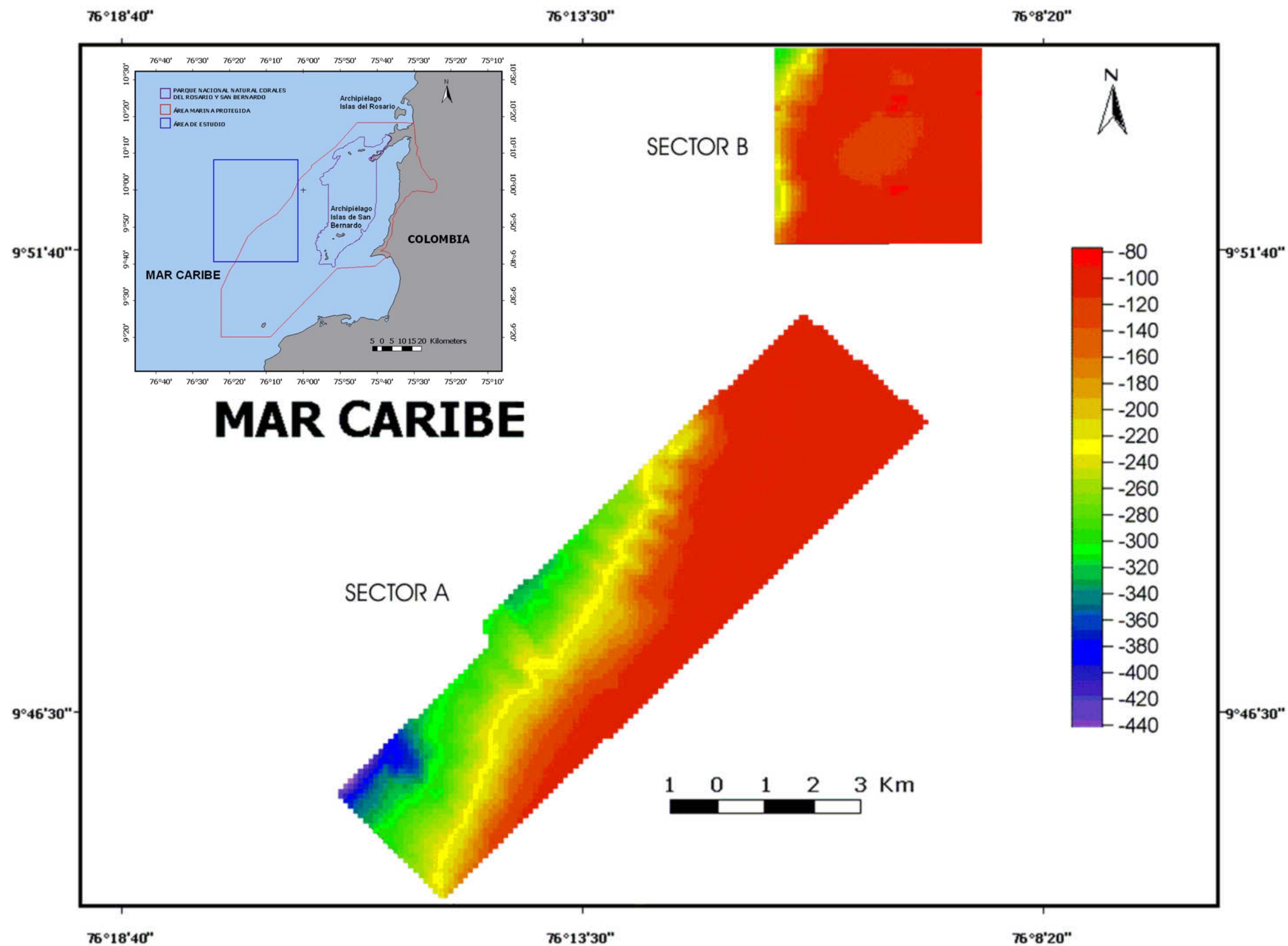


Figura 16. Cobertura de batimetría (escala en metros de profundidad). Tomado y modificado de Reyes *et al.* (2006).

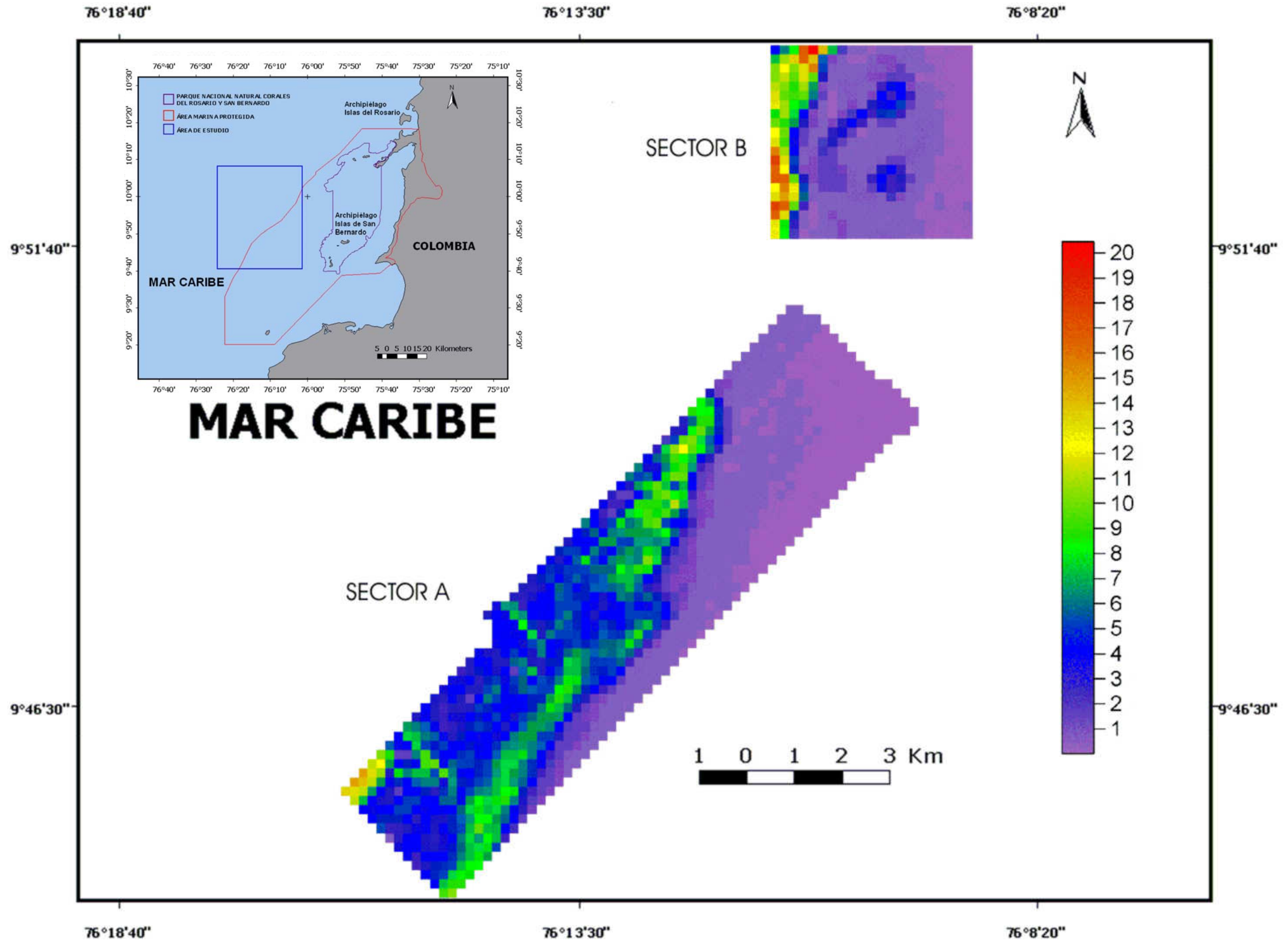


Figura 17. Cobertura de pendiente (escala en grados de inclinación). Tomado y modificado de Reyes *et al.*, 2006.

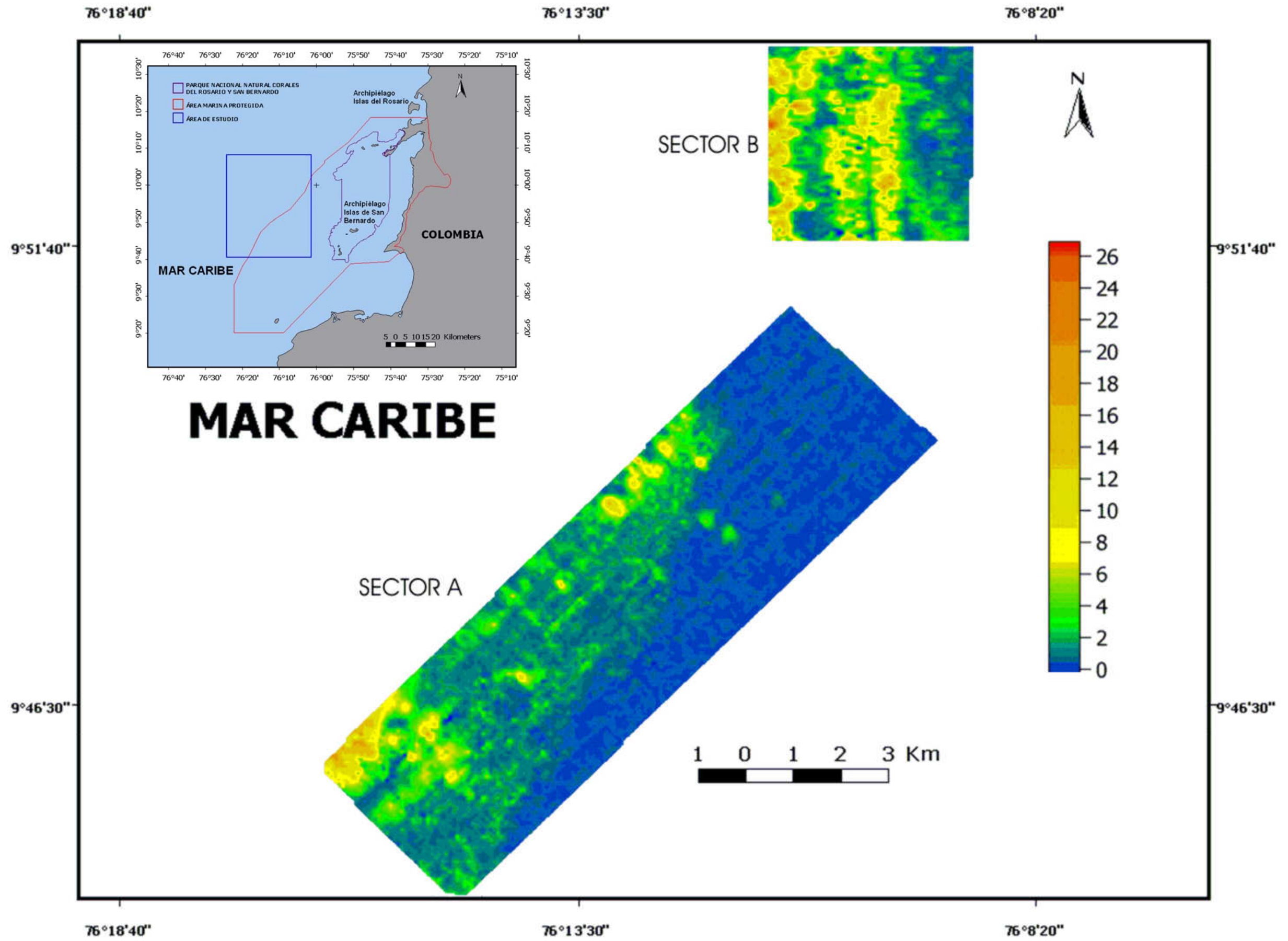


Figura 18. Cobertura de rugosidad (escala en metros). Tomado y modificado de Reyes *et al.* (2006).

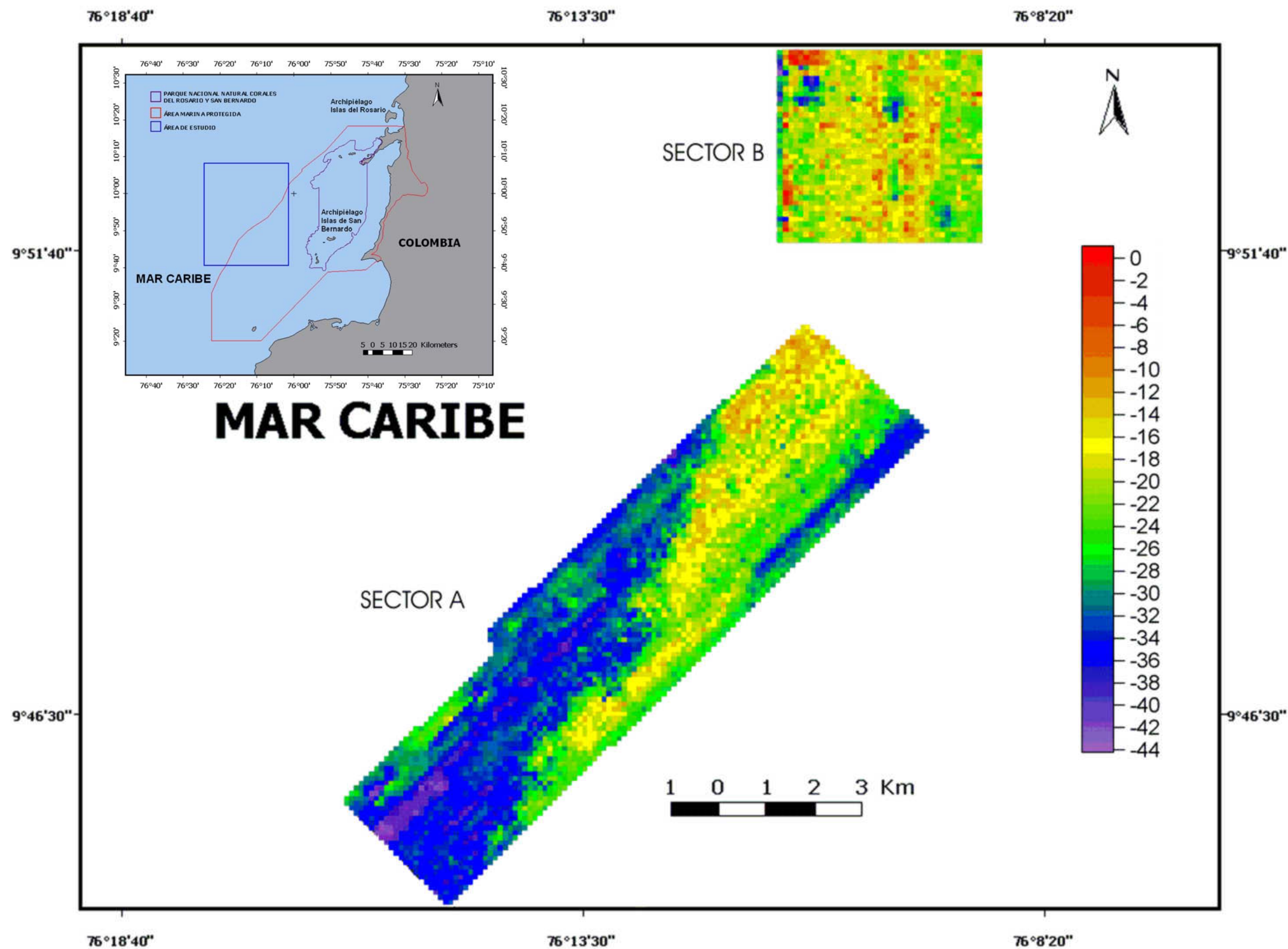


Figura 19. Cobertura de textura (escala en decibelios). Tomado y modificado de Reyes *et al.* (2006).

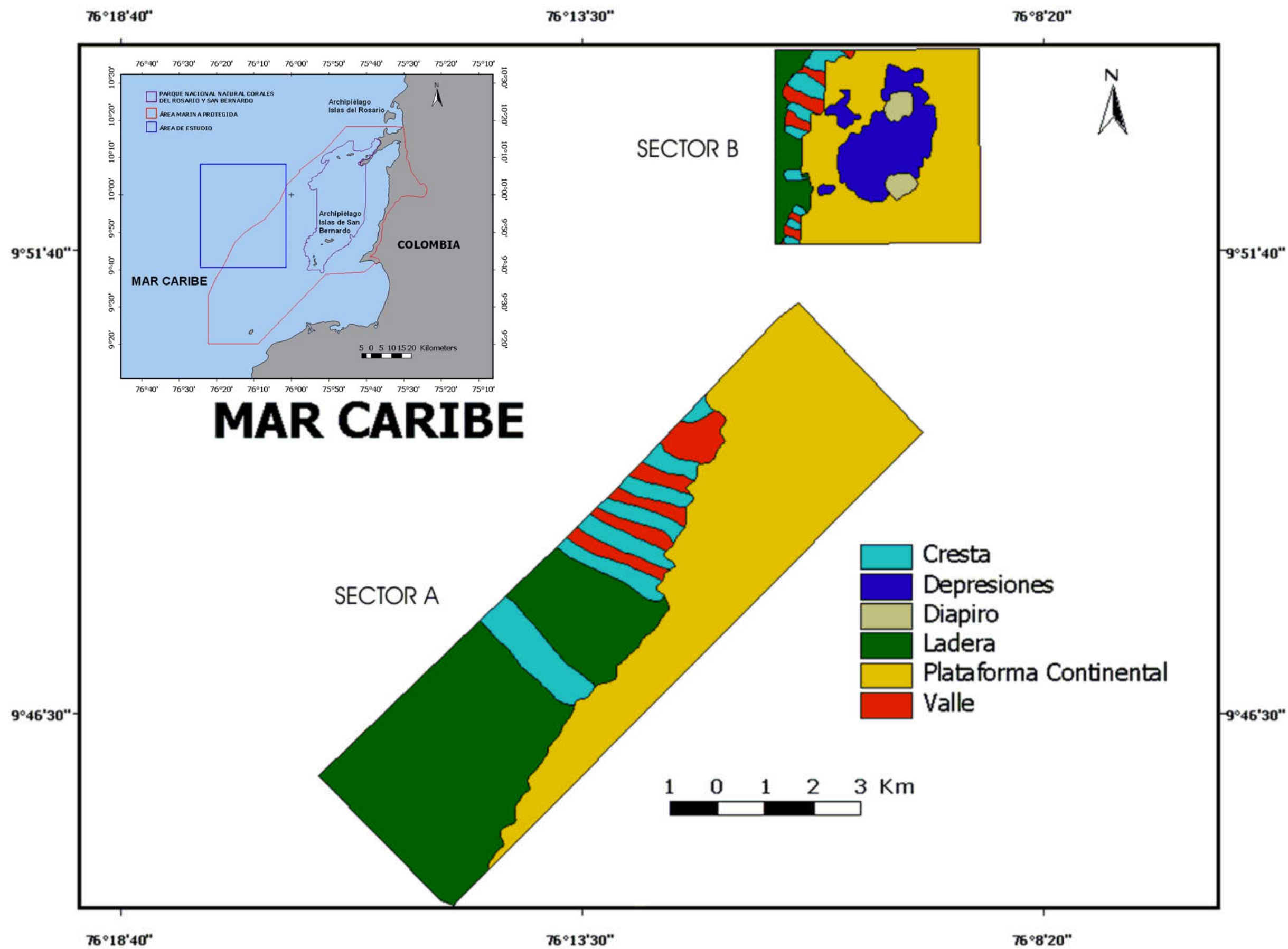


Figura 20. Cobertura de geomorfología. Tomado y modificado de Reyes *et al.* (2006).

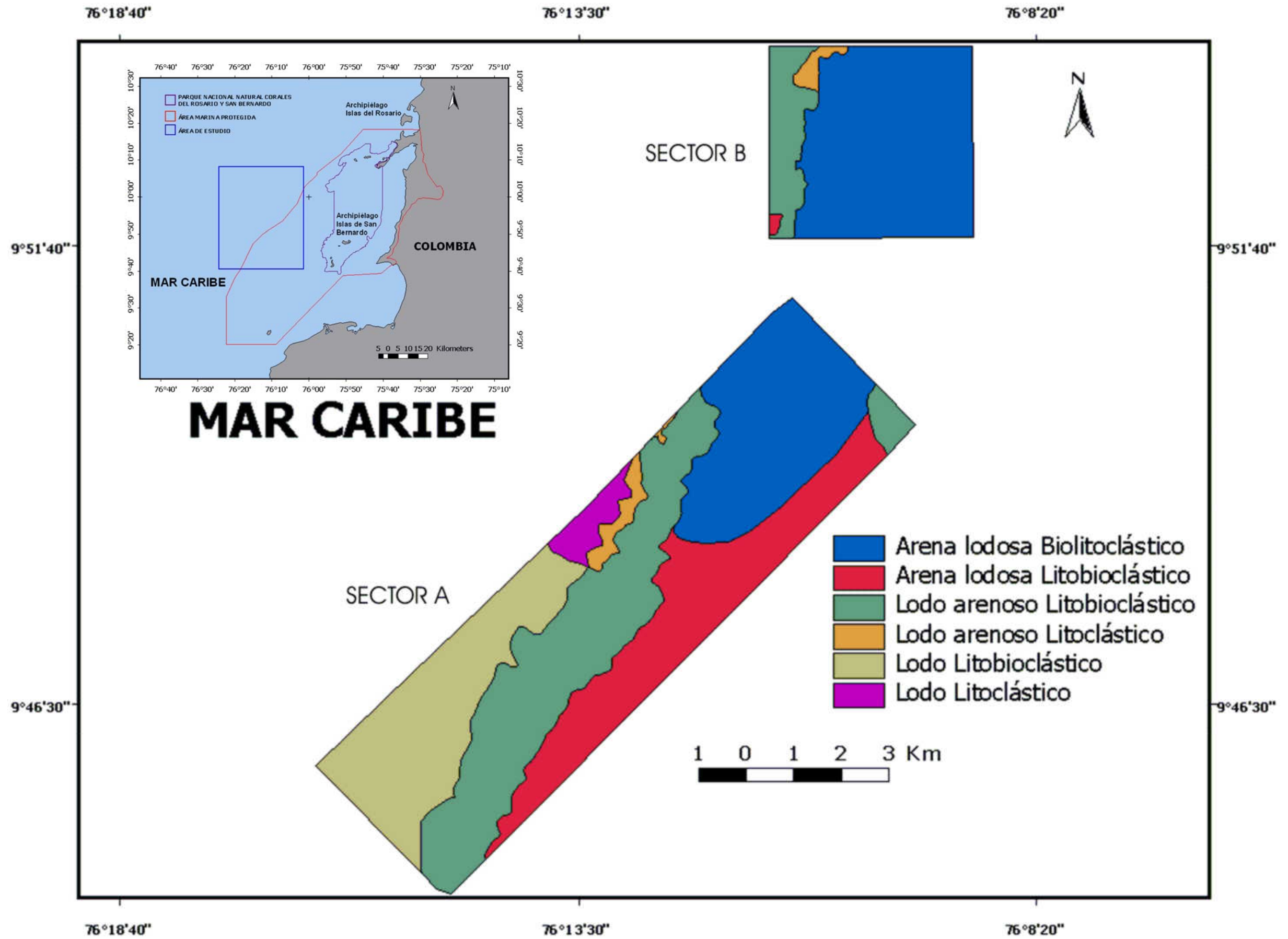


Figura 21. Cobertura de las facies sedimentarias. Tomado y modificado de Reyes *et al.* (2006).

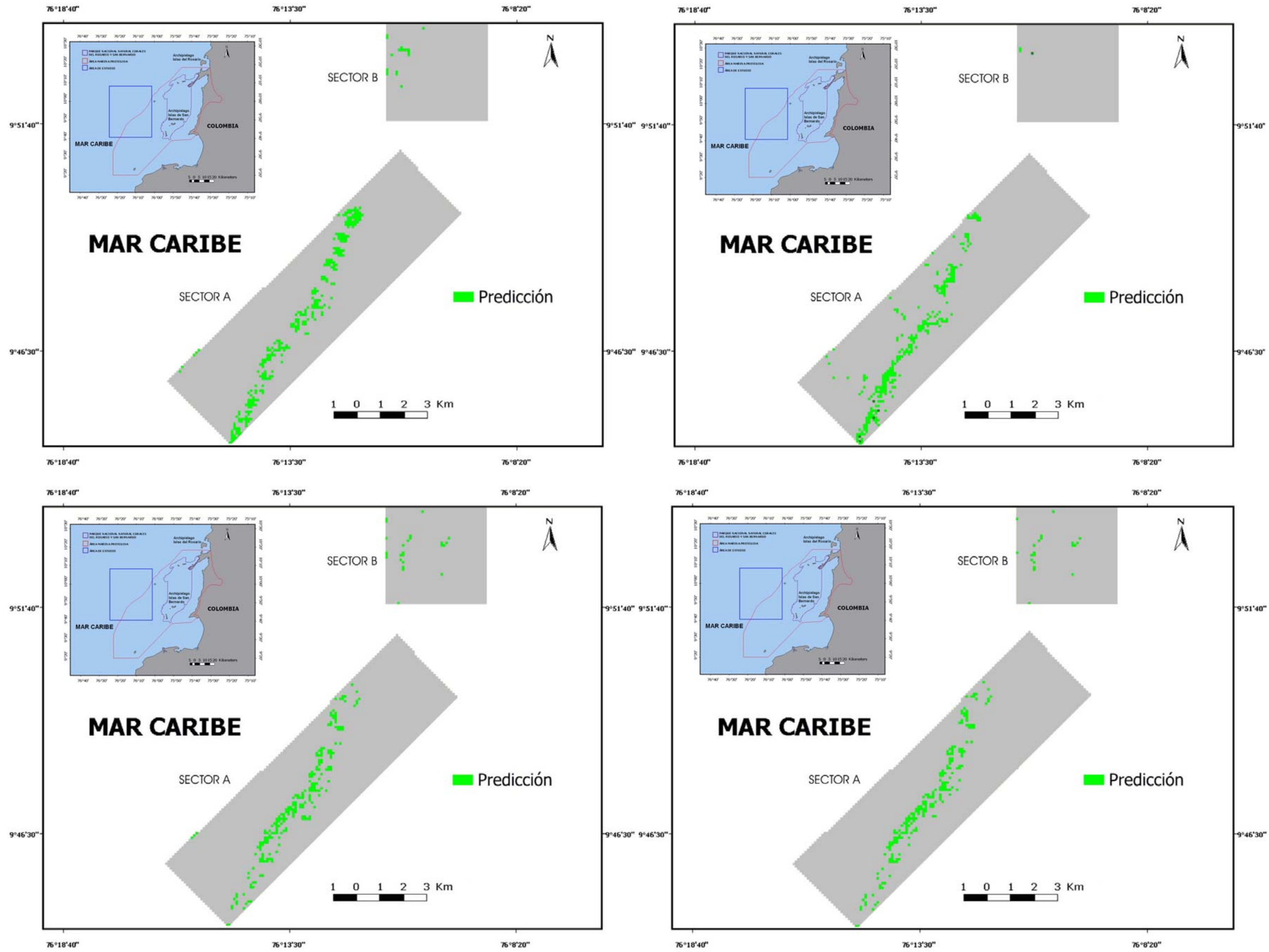


Figura 22. Cuatro de los cinco mejores modelos 9 (arriba - izquierda), 16 (arriba - derecha), 18 (abajo - izquierda) y 20 (abajo - derecha) de la posible distribución del ensamblaje corales profundos en las sectores A y B de la zona de estudio.

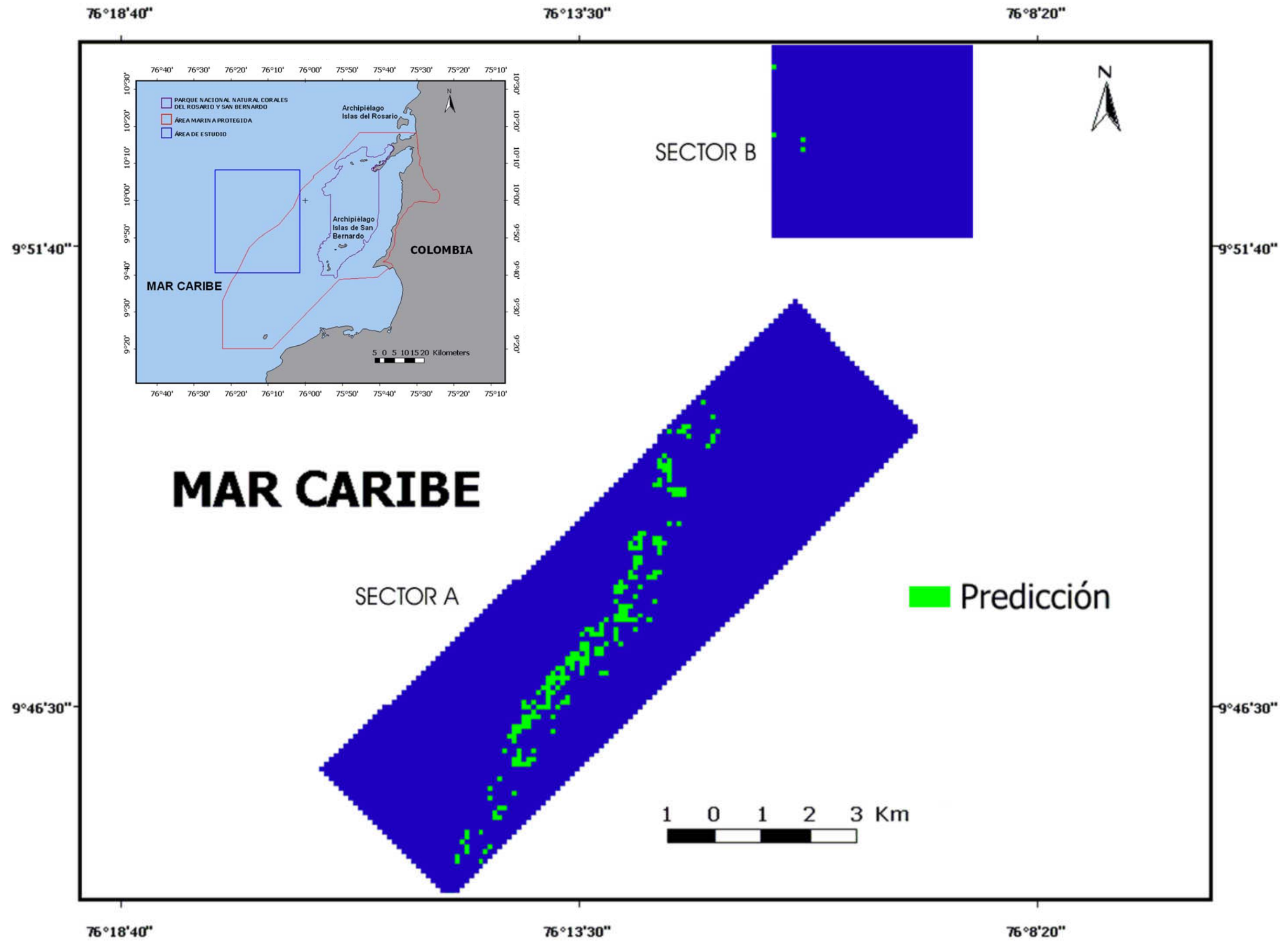


Figura 23. Distribución espacial final del ensamblaje corales profundos en las sectores A y B de la zona de estudio.

4.4. PREDICCIÓN FINAL

A partir de las seis coberturas ambientales, se generaron 20 predicciones espaciales, significativamente similares del ensamblaje de Corales Profundos (CP), se evaluaron a partir de la matriz de confusión, escogiéndose los cinco mejores modelos basados en el valor de la clasificación correcta (CC), el índice de omisión intrínseco y el índice de inclusión intrínseco. Siendo estos el 9 (CC. 0,9828), 16 (CC. 0,9844), 18 (CC. 0,9816), 20 (CC. 0,9824) (Figura 22; Tabla 9), y la mejor predicción espacial fue la 19 con un valor de CC. 0,9872 (Figura 23; Tabla 9).

Tabla 8. Clasificación de los sedimentos basada en el % de carbonatos y en el % de arena de la muestra. Los sedimentos de origen litoclástico son únicamente de origen terrígeno, los de origen litobioclástico y biolitoclástico son una combinación entre biogénico y terrígeno, siendo el primero más terrígeno y el segundo más biogénico, y el de origen bioclástico es netamente biogénico. Se presenta una escala de porcentajes mostrándose un aumento del % de carbonatos partiendo de 0 (litoclástico) hasta 100 (bioclástico), y en el % de arena se distribuye de izquierda a derecha siendo la parte primaria de esta 100 % arena y su opuesto a la derecha 100 % lodo (Verette, 1982).

% CaCO ₃	% ARENA			
	ARENAS	ARENAS LODOSAS	LODOS ARENOSOS	LODOS
LITOCLASTICO	I a	II a	III a	IV a
LITOBIOCLASTICO	I b	II b	III b	IV b
BIOBITOCLASTICO	I c	II c	III c	IV c
BIOCLASTICO	I d	II d	III d	IV d
	100 %	90	50	10

Tabla 9. Matriz de confusión generada por GARP en la cual se calculan los valores de la correcta clasificación $(a+d)/(a+b+c+d)$, el error de omisión intrínseco $c/(a+c)$ y el índice de inclusión intrínseco $b/(b+d)$. Los modelos 9, 16, 18-20 (en negrita) fueron escogidos como los modelos más acertados.

MODELO	ENSAMBLAJE	Pr:Pr/Ac:Pr (a)	Pr:Ab/Ac:Pr (b)	Pr:Pr/Ac:Ab (c)	Pr:Ab/Ac:Ab (d)	Correcta Clasificación $(a+d)/(a+b+c+d)$	Error de Omisión $c/(a+c)$	Índice de Comisión $b/(b+d)$
1	CORALES PROFUNDOS	1250	0	128	1122	0.9488	0.0929	0
2	CORALES PROFUNDOS	1250	0	104	1146	0.9584	0.0768	0
3	CORALES PROFUNDOS	1250	0	28	1222	0.9888	0.0219	0
4	CORALES PROFUNDOS	1250	0	99	1149	0.9604	0.0734	0
5	CORALES PROFUNDOS	1250	0	67	1183	0.9732	0.0509	0
6	CORALES PROFUNDOS	1250	0	97	1153	0.9612	0.0720	0
7	CORALES PROFUNDOS	1250	0	74	1176	0.9704	0.0559	0
8	CORALES PROFUNDOS	1250	0	101	1149	0.9596	0.0748	0
9	CORALES PROFUNDOS	1250	0	43	1207	0.9828	0.0333	0
10	CORALES PROFUNDOS	1250	0	28	1222	0.9888	0.0219	0
11	CORALES PROFUNDOS	1250	0	29	1221	0.9884	0.0227	0
12	CORALES PROFUNDOS	1250	0	149	1099	0.9404	0.1065	0
13	CORALES PROFUNDOS	1250	0	57	1193	0.9772	0.0436	0
14	CORALES PROFUNDOS	1250	0	84	1166	0.9664	0.0630	0
15	CORALES PROFUNDOS	1250	0	25	1225	0.9900	0.0196	0
16	CORALES PROFUNDOS	1250	0	39	1211	0.9844	0.0303	0
17	CORALES PROFUNDOS	1250	0	82	1165	0.9672	0.0616	0
18	CORALES PROFUNDOS	1250	0	46	1204	0.9816	0.0355	0
19	CORALES PROFUNDOS	1250	0	32	1218	0.9872	0.0250	0
20	CORALES PROFUNDOS	1250	0	44	1206	0.9824	0.0340	0

Posiblemente al usar sustitutos abióticos para patrones de distribución biológica, dos posibles errores pueden ocurrir: falsa homogeneidad (sitios donde condiciones abióticas "geofisicoquímicas" similares o idénticas sustentan diferentes organizaciones espaciales de las especies), falsa heterogeneidad (sitios con diferentes condiciones abióticas que sustentan distribuciones biológicas muy similares). La mayoría de esquemas de clasificación de hábitats abióticos, proveen beneficios para generar distinciones claras como la de sustratos suaves y duros o coral contra roca, o contra grava y esas condiciones abióticas variables pueden desempeñar un buen papel en la predicción de patrones de similaridad biológica. Para la planeación de AMP, especialmente para consideraciones de representación, la ubicación geográfica es (o debe ser) el interés principal. Los datos biológicos puros o una combinación de ellos, está afectado extremadamente por la escala del mapeo y la representación de objetivos (Stevens y Connolly, 2004).

La conservación de la diversidad es uno de los principales objetivos de las AMP, por esto la importancia de encontrar sustitutos de biodiversidad, porque actualmente no es posible inventariar todas las áreas y todas sus especies. Williams y Gaston (1994) encontraron que los patrones espaciales de la riqueza de familias tienen una buena correlación con la riqueza de especies para muchos grupos biológicos y sugieren que usar la riqueza de taxones mayores (e.g. familias) como sustitutos para la riqueza de especies para determinar áreas prioritarias para la conservación.

Por esta razón, es importante aclarar que dicha predicción es sólo un modelo de la distribución de las especies del ensamblaje CP, que está sujeta a discusión, cuando se disponga de una mayor cantidad de datos para establecer de una manera más precisa dónde y cómo se desarrollan estas comunidades de profundidad.

La predicción final para el ensamblaje CP (Figura 23) establece una distribución concentrada sobre el borde de la plataforma continental, con profundidades que oscilaron principalmente entre los 120 - 220 m, pendientes de 4 - 11°, elevaciones del lecho marino que oscilan entre los 0 - 6 m, un suelo particular con una posible textura suave y poco compacta, geoformas de cresta, ladera y valle, además de registrarse solamente en sustratos de lodos arenosos litobioclásticos. De esta manera, se observó una franja continua para el sector A, mientras que sólo cuatro puntos al oeste del sector B donde se encontró un punto aislado alrededor de los 220 y 330 m. Esta distribución se ha registrado más comúnmente entre 2 - 640 m y variando en cada especie (Cairns, 2000) acorde a lo propuesto en la modelación.

La modelación generada para el ensamblaje CP es afín a lo observado para los arrecifes coralinos de profundidad en otras latitudes, ya que se han registrado en zonas donde el lecho marino presenta pendientes superiores a $0,6^\circ$ y una topografía submarina precipitada e irregular (e.g. acantilados, fracturas oceánicas, montículos marinos, sobre el margen de los fiordos y en el borde de la plataforma continental); siendo estas características consideradas como las más apropiadas para el crecimiento de estas especies (Mortensen *et al.*, 2001; Foubert *et al.*, 2005; Tavianni *et al.*, 2005). La presencia de los corales de profundidad bajo estas condiciones físicas del ambiente, puede estar relacionada con la formación de masas de aguas suspendidas debido al aumento en la velocidad del agua, generada por la inclinación del sustrato, la cual concentra una mayor oferta alimenticia favoreciendo la presencia de los mismos. Además que la geomorfología y la presencia de un sustrato adecuado son factores externos que regulan la distribución de los corales de profundidad (Mortensen *et al.*, 2001; Foubert *et al.*, 2005).

Mortensen *et al.* (2001) proponen una relación directamente proporcional entre la abundancia de especies de corales profundos y la rugosidad del lecho marino, registrando altas densidades en áreas donde el lecho marino es quebrado. Particularmente, para los corales del ensamblaje CP Reyes *et al.* (2005) registró un desarrollo de estos sobre sustratos caracterizados por un relieve rugoso. Los resultados de la predicción plantean condiciones similares a las expuestas, de modo que se generó una modelación de la presencia del ensamblaje CP en fondos con una alta rugosidad para ambos sectores y elevaciones del sustrato entre 0 y 6 m. Parece ser que esta característica del fondo marino provee sitios más elevados que permiten la re-circulación local de masas de agua, reteniendo una mayor cantidad de alimento disponible para estas especies heterótrofas y sésiles (Mortensen *et al.*, 2001).

En el Atlántico Norte y el Mediterráneo las zonas más adecuadas para el asentamiento y desarrollo de los corales de profundidad, principalmente *Lophelia pertusa*, están relacionadas con ambientes caracterizados por sustratos rocosos y compactos (Mortensen *et al.*, 2001; Foubert *et al.*, 2005; Remia y Tavianni, 2005). Reyes *et al.* (2005) registran crecimientos de las especies que conforman el ensamblaje CP sobre un relieve rocoso. Por otro lado, se han encontrado comunidades arrecifales de profundidad sobre sustratos blandos de tipo lodoso y arenoso, proponiendo así este tipo de sedimentos como otra alternativa para el crecimiento especies como *Madrepora oculata* (Remia y Tavianni, 2005; Tavianni *et al.*, 2005); la predicción espacial sugiere que la ubicación de los corales profundos en el área de estudio es más acorde con sedimentos blandos de este tipo (lodos

arenosos litobioclásticos) donde se presenta una textura suave y poco compacta, con una respuesta de la ecosonda para ambos sectores que fluctúa entre los -20 dB y los -38 dB. Sin embargo, estos resultados deben ser analizados con cautela debido a que los ecogramas no son una medida exacta de la textura del subsuelo marino, sino que son estimaciones de la refracción de la onda enviada por la ecosonda e interpretadas por el investigador (Mortensen *et al.*, 2001).

En cuanto a la geformología, la distribución espacial del ensamblaje CP fue sobre las geoformas de crestas, laderas y valles. No hubo predicción espacial en las depresiones, diapiros y sobre la plataforma continental, posiblemente porque estas geoformas se presentaron a profundidades menores a 100 m.

4.5. CRITERIOS BIOLÓGICOS

Para asegurar que los sistemas estén verdaderamente representados es necesario estudiar hábitats desconocidos, esto incluye a las comunidades de profundidad (Lourie y Vincent, 2004). Basados en estos y con los datos obtenidos en este documento, se propone la necesidad mejorar el sistema existente del AMP ARSB (redefinir su forma y tamaño), o crear nuevas AMP en la región. Para ello se estructuraron algunos criterios usados como herramienta para priorizar y zonificar a los corales de profundidad del AMP ARSB, presentados a continuación como complemento de los ya establecidos.

Diversidad: las comunidades coralinas de profundidad son una pieza fundamental para el desarrollo de las especies marinas en términos de diversidad. Para asegurarnos que haya una ideal representación de los ecosistemas, hábitats, comunidades y especies, se esperaría que se tomaran en su totalidad y se protegieran, pero como eso es imposible por el momento se deben preservar lugares con la mayor variedad o riqueza. Es así como estos sitios deben ser catalogados con un nivel de importancia mayor, esta es una de las justificaciones por las cuales los corales de profundidad deban catalogarse como ecosistemas valiosos y tenidos en cuenta para ser protegidos a nivel gubernamental. En el borde de la plataforma continental se observó que los índices de biodiversidad presentaban altos valores de diversidad (Shannon-Wiener 3,87), de riqueza (Margalef 19,83) y una significativa uniformidad (Pielou 0,78), que pueden estar relacionados a la presencia de estas comunidades coralinas de profundidad, las cuales al ser protegidas lograrían mejoras en

los stocks a nivel pesquero (Airamé *et al.*, 2003). El criterio biológico de diversidad es uno de los más importantes tal como se puede observar en otras AMP, de tal modo los mares del sur-este Asiático basan sus esquemas de priorización específicamente en la conservación de la biodiversidad incluyendo sitios con una alta riqueza de especies (Roberts *et al.*, 2002).

Naturalidad: cuando los sistemas naturales marinos no han recibido degradaciones antropogénicas significativas, pueden ofrecer altas biomásas en la pesquería y aportar al desarrollo biológico de las especies. Los corales de profundidad y su fauna acompañante en Colombia, se encuentran en un estado casi prístino, ya que la pesca de arrastre que es una de las principales causas de los mayores daños directos en las profundidades (Shester y Ayers 2005) es relativamente poco desarrollada en el país. La principal especie que se obtiene mediante la pesca de arrastre es el camarón, que puede encontrarse a profundidades mayores de 1500 m (Tavares, 2002), el camarón se extrae en el Caribe colombiano hasta los 100 m de profundidad y por ende es de esperarse que los impactos de esta actividad comercial sobre los corales de profundidad sea limitada, opuesto a esto, en el Pacífico se pesca hasta los 500 m (Manjarrés *et al.*, 2006) desconociéndose la posible presencia de corales a esas profundidades, por ello la preocupación debería ser mayor, ya que se está destruyendo su hábitat y no se está controlando. En el Caribe esta pesca de profundidad no se ha implementado, apenas se están haciendo algunas prospecciones, recientes estudios basados en muestreos directos en faenas de arrastre de la flota industrial del área norte del Caribe, determinaron que el total de descartes de especies ícticas con respecto a la captura total es de 74,1 % (+/- 5,8%). Dicho descarte está conformado por especies no comerciales, juveniles de especies comerciales e individuos maltratados por la operación de pesca (Viaña *et al.*, 2002; Medina, 2002; Zúñiga *et al.*, 2006). Así que llevando la pesca a mayores profundidades de las registradas hasta ahora para el Caribe afectaría la integridad de las comunidades de corales profundos, valiosa cualidad que se debería preservar y mantener.

Representación y heterogeneidad de hábitats: la necesidad de que todos los hábitats marinos estén representados dentro de una región biogeográfica hace que los corales de profundidad (hábitats raros), que por el momento se encuentran mediante el principio de precaución en el AMP ARSB, se les proporcione un cuidado especial, protección adicional y la garantía de la inclusión como un importante objeto de conservación dentro de la misma (Roberts *et al.*, 2003b). Hace

menos de cinco años se conoce la presencia de comunidades coralinas de profundidad en Colombia, (Reyes *et al.*, 2005), por tal razón es fundamental que sitios especiales como este se protejan. En el AMP ARSB los ecosistemas como los arrecifes coralinos someros, las praderas de fanerógamas y los manglares posiblemente se ven favorecidos por la presencia de los sistemas de profundidad que están bajo la misma área, lo cual pueda garantizar la resiliencia de estos ecosistemas. La incorporación de estas comunidades profundas, aumentaría el nivel de representatividad y heterogeneidad en el AMP. El uso de este criterio es un mejor indicador de biodiversidad que la riqueza de especie debido a las diferencias intrínsecas de cada hábitat. Por ejemplo, los arrecifes coralinos siempre tienen una riqueza de especies mayor que las playas arenosas, lo que no los hace más valiosos para la conservación (Roberts *et al.*, 2003b).

Cualidad de único: este criterio tiene varias categorías, una de ellas es el de las especies o poblaciones que tienen características particulares que las hacen de gran interés para la inclusión dentro de AMP (Roberts *et al.*, 2003a). Para este caso en particular se hace referencia a los corales de profundidad, comunidades únicas para el Caribe colombiano (Reyes *et al.*, 2005), que pueden estar en un futuro amenazadas por posibles impactos antropogénicos como la pesca de arrastre. Estas presentan cualidades que las hacen ser particulares, por ejemplo, su desarrollo en aguas menores a 20 °C, la necesidad de fuertes corrientes que transporte materia orgánica para su alimentación, tolerancia a la sedimentación y a salinidades mayores a 35 UPS, entre otras. Características no usuales en otras comunidades coralinas. Además, del registro de un banco coralino vivo de *Madracis myriaster* único en el mundo (Allen y Wells, 1962), da una mayor importancia a este criterio y un mayor valor ecológico a estas comunidades.

Presencia de especies o poblaciones de interés especial: una de las metas para las AMP es la protección de las poblaciones con un interés especial, las cuales incluyen las especies de importancia comercial, especies clave, amenazadas y/o en peligro. Como por ejemplo todo el orden SCLERACTINIA contenido en el apéndice II de CITES, que abarca los objetos de conservación propuestos en este documento (*Anomocora fecunda*, *Cladocora debilis*, *Eguchipsammia cornucopia*, *Madracis asperula*, *Madracis myriaster* y *Madrepora carolina*). Estos deben ser sometidos a reglamentación pues sin un control eficaz, podrían llegar a ponerse en peligro (Reyes y Santodomingo, 2002). Los ecosistemas profundos no han sido ampliamente estudiados para

Colombia (Reyes *et al.*, 2005), pero a nivel global, se tiene una mayor disponibilidad de información especialmente en países desarrollados que disponen de una mayor cantidad de recursos para este tipo de investigaciones, las cuales se han enfocado principalmente en la preservación de estos ecosistemas gracias a su importancia ecológica.

Presencia de etapas de vida vulnerables: las comunidades coralinas de profundidad, posiblemente proveen zonas útiles como salacunas y desove, importantes para el desarrollo de su biodiversidad acompañante, ya que la mayoría de las especies marinas son particularmente susceptibles a la mortalidad en sus primeras etapas de vida (Sauer *et al.*, 1992). Entendiendo que estas etapas de vida son las más críticas para el desarrollo poblacional, lo que impediría pasar desapercibidos estos lugares. Por esto se les debe dar un valor de importancia mayor que a otros y se deben incluir y priorizar zonas en AMP que los protejan.

Vulnerabilidad: la vulnerabilidad de las comunidades coralinas de profundidad puede verse afectada y devastada en un futuro. Lo que requiere una protección inmediata de amenazas humanas y/o eventos catastróficos ambientales. El mayor desastre sobre el lecho marino es causado básicamente por la pesca de arrastre que puede diezmar la alta biodiversidad de en estas zonas (Figura 24) (Shester y Ayers, 2005), la cual en el Caribe comenzará a implementarse hasta profundidades de 500 m (Manjarrés *et al.*, 2006) generando grandes desastres a estas comunidades, si no se adoptan medidas de contingencia para impedir o amortiguar estos daños. Algunos estudios puntuales para el Caribe colombiano han reportado valores de la proporción peces/camarón de 10:1 (Osorio, 1986) y 12:1 (Mora, 1989), lo cual implicaría un fuerte impacto de las redes de arrastre en la biodiversidad. Por esto se debe asegurar que estos ecosistemas estén representados adecuadamente en AMP evitando graves e irremediables desastres para la diversidad colombiana, además la pesca de arrastre en el área debe ser rotundamente prohibida por la información que sobre la misma se posee.

Productividad: la economía pesquera para cualquier país es importante ya que de estos recursos dependen muchas personas. La protección de poblaciones potencialmente explotables es un prerrequisito para las AMP y para el beneficio de los habitantes que circundan estas zonas. Por tal

motivo, el grado de protección para un área que incremente los stocks de importancia comercial debe ser alto, más aun si apoya la recuperación de poblaciones que se encuentran severamente afectadas, estos beneficios entre otros son generados a partir de la creación de AMP, las cuales incrementan los stocks pesqueros y simultáneamente protegen la biodiversidad (Halpern, 2003). Las comunidades coralinas de profundidad del Caribe colombiano aportarían significativamente a estos beneficios, debido a su posible soporte biológico por sus altos índices de diversidad, e.g. la presencia de familias de peces de importancia comercial como: Serranidae, Lutjanidae, Carangidae y Trichiuridae (Carpenter, 2002) y de crustáceos como: Penaeidae y Portunidae (Tavares, 2002).

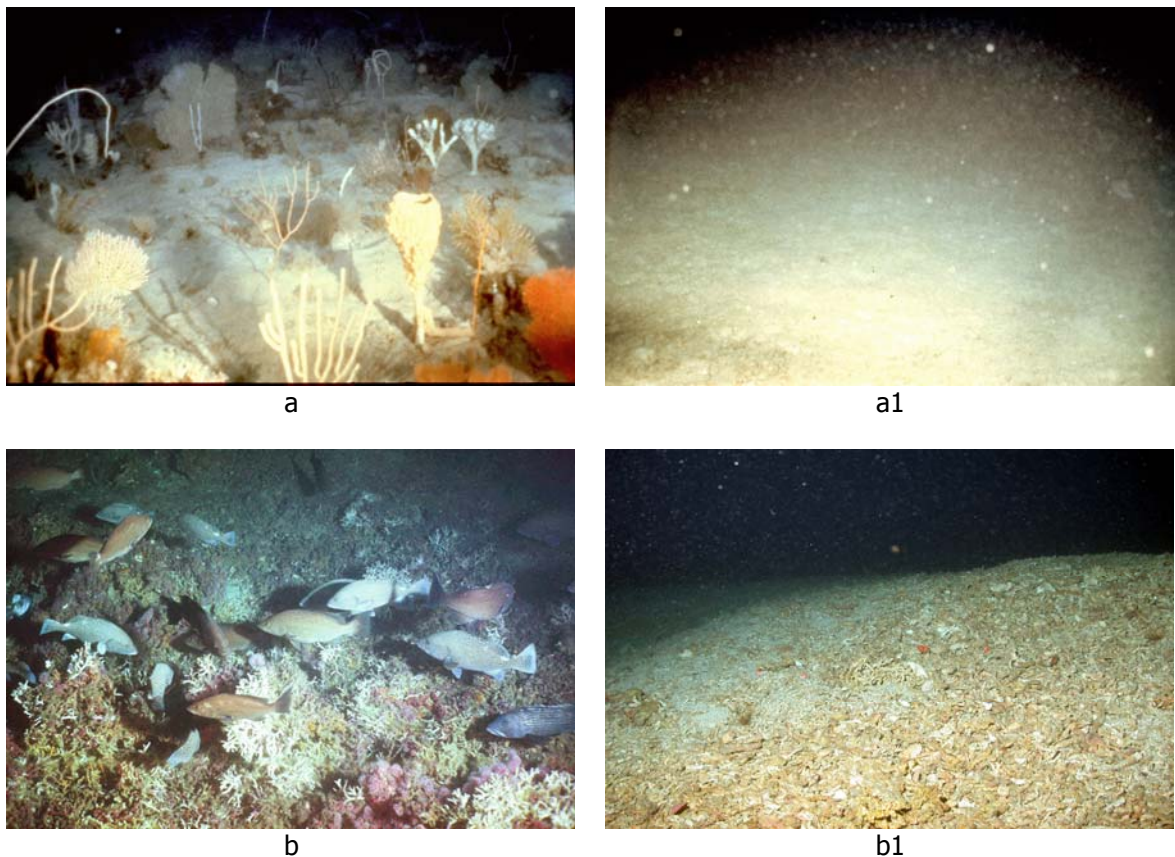


Figura 24. Perturbaciones causadas por la pesca de arrastre a corales de profundidad. Las imágenes a-a1, b-b1 son imágenes del mismo punto. Tomadas de a. Dr. Keith Sainsbury, CSIRO Lance Horn, b. Dr. R. Grant Gilmore, Dynamac Corporation, b1 National Undersea Research Center.

De exclusión: la amenaza antropogénica hacia las comunidades coralinas de profundidad es baja, debido a que aún en el Caribe colombiano no hay una explotación pesquera de arrastre en esta zona. Por lo tanto, proteger las zonas donde haya registros de estas comunidades permitirá que se mantengan en condiciones prístinas de desarrollo. Esto contribuirá a diseñar planes de manejo y modelos de desarrollo sostenible para estas comunidades de profundidad, dándole una especial importancia a estas especies, protegiéndose de posibles desastres antropogénicos que afectarían directamente la biodiversidad de la zona. Además, se deben clasificar como potenciales de conservación, especialmente si la protección reduce amenazas futuras anticipadas (Roberts *et al.*, 2003a).

De selección (conectividad): en este contexto, conectividad se define como la transferencia de energía entre diferentes lugares de una reserva representada por el aporte de biomasa desde las comunidades coralinas de profundidad, hacia el AMP ARSB, ampliando la biodiversidad poblacional del lugar (e.g. movimientos de juveniles y adultos), en conjunto con los otros ecosistemas del AMP tales como, arrecifes coralinos someros, praderas de pastos marinos y los fondos blandos. Este criterio hace referencia a la interconexión que existe entre las zonas de un AMP, ya que algunas especies con ámbitos batimétricos amplios pueden pasar ciertas etapas de su vida en cada uno de estos ambientes.

Gracias al registro de especies coralinas de profundidad (numeral 4.2.), las cuales forman un ensamblaje que puede estar generando el hábitat de una alta biodiversidad asociada de especies, se propone priorizar y sectorizar las áreas que albergan estas comunidades dentro del AMP ARSB, basados en: (1) los criterios ecológicos expuestos anteriormente (Tabla 5) y en (2) el modelo de predicción espacial. Cabe mencionar que de los diez criterios contemplados, se dispone de suficiente información para cinco criterios, poca información para tres de ellos y ninguna para los dos restantes (Tabla 10).

Tabla 10. Aplicación de los criterios ecológicos para priorizar y sectorizar las comunidades coralinas de profundidad dentro del AMP ARSB. Se propusieron tres categorías de acuerdo al nivel de información disponible referente a cada uno de los criterios. **SI**, significativa información; **NO**, carencia de información disponible y **POCA**, información primaria.

CRITERIOS ECOLÓGICOS	APLICACIÓN ENFOCADA A LAS COMUNIDADES CORALINAS DE PROFUNDIDAD PARA AL AMP ARSB	CATEGORIAS DE INFORMACIÓN
Diversidad	Alrededor de 150 especies.	SI
Naturalidad	Desprovista de perturbaciones antropogénicas.	SI
Representación y heterogeneidad de hábitats	Hábitats especiales (raros). 5 grupos biológicos (corales, crustáceos, equinodermos, moluscos y peces).	SI
Cualidad de único	Posibles especies formadoras de arrecifes coralinos de profundidad (<i>Anomocora fecunda</i> , <i>Cladocora debilis</i> , <i>Eguchipsammia cornucopia</i> , <i>Madracis asperula</i> , <i>Madracis myriaster</i> y <i>Madrepora carolina</i>). El registro de un banco coralino vivo de <i>Madracis myriaster</i> único en el mundo.	SI
Presencia de especies o poblaciones de interés especial	Comunidades coralinas de profundidad.	POCA
Presencia de etapas de vida vulnerables	Las comunidades coralinas de profundidad son sitios de desove y cría.	NO
Vulnerabilidad	La pesca de arrastre puede hacer susceptible la degradación de las comunidades coralinas de profundidad.	POCA
Productividad	La posible importancia ecológica, por sus altos índices de abundancia y la viable recuperación de poblaciones que se encuentran severamente sobreexplotadas.	POCA
De exclusión	Desconocimiento de las comunidades profundas.	SI
De selección (conectividad)	Transferencia de flujos energéticos entre la presencia de los CORALES PROFUNDOS y el AMP ARSB.	NO

Sería ideal poder proteger el 100 % de los ecosistemas coralinos de profundidad pero esto es imposible (Margules y Pressey, 2000), ya que no se puede adoptar este porcentaje para los corales ni para ningún ecosistema, a parte de esto, se tiene un mínimo conocimiento de estos para Colombia. Se recomienda el uso de otras herramientas que permitan generar una modelación para

su conservación, por ejemplo el software MARXAN, el cual genera posibles sitios prioritarios de conservación en los que se incluyen todo tipo de objetos de conservación (atributos ecológicos y presencia de especies). En Colombia se están generando avances en el diseño de AMP para el Caribe continental y creando perspectivas a futuro por medio de este software (Alonso, 2006) y se recomendaría darle una prioridad del 100 % a estos sistemas profundos al momentos de incluirlos en estas modelaciones, debido a la importancia que estos representan para las especies marinas.

En los alrededores del AMP ARSB se encontraron puntos que registran una significativa biodiversidad (cnidarios, crustáceos, equinodermos, moluscos y peces) por la presencia especies de corales formadores de hábitat; además, es importante resaltar que se presume que en el sector *Madracis myriaster* podría llegar a conformar bancos coralinos similares a los fósiles descritos (Holoceno) para el delta del Río Niger en el Atlántico Oriental (Allen y Wells, 1962).

Evaluando estas comunidades bajo criterios biológicos de conservación ya establecidos se cree que es necesaria la inclusión de ellos en el AMP ARSB, siendo recomendable que se tomen como objetos de conservación antes de que sean alterados antropogénicamente. También es importante que se dirijan esfuerzos en la investigación y el mapeo de las zonas profundas en búsqueda de consolidar el conocimiento adquirido en este estudio, ya que posiblemente las características del borde de la plataforma continental en otros puntos a lo largo del Caribe sean muy similares a las observadas en este trabajo.

CONCLUSIONES

Se identificaron como objetos de conservación las especies de corales azooxanquelados *Anomocora fecunda*, *Cladocora debilis*, *Eguchipsammia cornucopia*, *Madracis asperula*, *Madracis myriaster* y *Madrepora carolina*, ya que estas son las principales constructoras de hábitat y por lo tanto, representan adecuadamente a las formaciones coralinas de profundidad del margen continental en el Área Marina Protegida de los Archipiélagos del Rosario y de San Bernardo (AMP ARSB), así como a las especies asociadas. De esta manera, al conservar dichos corales se garantizaría la preservación de la biodiversidad marina asociada (peces e invertebrados).

De acuerdo con la predicción espacial de los objetos de conservación, se estimó que la presencia de los corales fluctúa entre los 120 - 220 m, con pendientes de cuatro a once grados, elevaciones del lecho marino que oscilan entre los cero y seis metros, sobre sustratos de textura suave y poco compacta que corresponde a lodos arenosos litobioclásticos. Adicionalmente, se sugiere que estas características del borde de la plataforma continental pueden servir para la identificación de la presencia de comunidades coralinas de profundidad en otras áreas del Caribe colombiano.

Se identificaron diez criterios biológicos evaluables para las comunidades coralinas de profundidad del AMP ARSB, de los cuales se cuenta con suficiente información para cinco de ellos: diversidad, naturalidad, representación y heterogeneidad de hábitats, cualidad de único y de exclusión. Es así como se pudo establecer que las comunidades coralinas de profundidad se encuentran en un estado prístino, albergan especies de importancia ecológica (un banco coralino vivo de *Madracis myriaster* único en el mundo) y sustentan una amplia diversidad biológica (fauna acompañante).

A pesar de la poca información disponible sobre los criterios biológicos relacionados con la presencia de especies o poblaciones de interés especial, la vulnerabilidad y la productividad, estos deben ser tenidos en cuenta con el fin de evaluar la importancia de las comunidades coralinas de profundidad, ya que pueden ser considerados como potenciales lugares de reclutamiento para los stocks pesqueros de la región y deben ser protegidos incluyéndolos en el AMP CRSB.

Aunque no se cuenta con información para evaluar los criterios biológicos que hacen referencia a: presencia de etapas de vida vulnerables y de selección (conectividad), se tienen algunas evidencias

acerca de su relación con otros ecosistemas del AMP ARSB tales como, arrecifes coralinos someros, praderas de pastos marinos y los fondos blandos, al presentarse en estas comunidades coralinas especies que habitan en otros ecosistemas de la plataforma continental.

Las comunidades coralinas de profundidad del AMP ARSB son estructuras fundamentales para el desarrollo de una alta diversidad especies marinas en la región. Gracias a las evidencias aquí planteadas debe quitárseles el principio de precaución e incluirlas como una comunidad más del AMP ARSB.

RECOMENDACIONES

Con el fin de llenar los vacíos de información referentes a las comunidades coralinas de profundidad colombianas, es necesario realizar estudios con tecnología avanzada, como ROV's (vehículos teledirigidos), submarinos equipados con cámaras de video y otros mecanismos que faciliten la toma de muestras del lecho marino y de esta manera, adquirir un mayor conocimiento acerca de la estructura, composición y estrategias de vida de los corales de profundidad, su fauna asociada y su potencial uso como áreas de desove y cría.

Con base en este trabajo es recomendable conservar y priorizar a los corales de profundidad como objetos de conservación e incluirlos con 100 % de prioridad dentro del Área Marina Protegida de los Archipiélagos del Rosario y de San Bernardo.

Se recomienda que estos objetos de conservación sean caracterizados en otras áreas del Caribe colombiano como Santa Marta y La Guajira, donde por estudios precedentes (MACROFAUNA) se tiene evidencia de la presencia de corales de profundidad, de modo que se tengan en cuenta en el establecimiento, zonificación y manejo de AMP en Colombia.

Se sugiere realizar y tener en cuenta los estudios de evaluación del impacto causado por la pesca de arrastre en ecosistemas de profundidad, con miras a plantear estrategias de conservación y explotación sostenible de estas comunidades para Colombia.

Con las evidencias puntuales presentadas en este documento se recomienda que entidades que son la autoridad en Colombia encargadas de regular el comercio internacional de especímenes de animales y plantas silvestres, como el INVEMAR, revalúen la posición de las especies de corales *azooxanthelados* *Anomocora fecunda*, *Cladocora debilis*, *Eguchipsammia cornucopia*, *Madracis asperula*, *Madracis myriaster* y *Madrepora carolina*, en el apéndice II de CITES y las ubiquen en el apéndice I.

BIBLIOGRAFÍA

AIRAMÉ, S.; DUGAN, J.E.; LAFFERTY, K.D.; LESLIE, H.; McARDLE, D.A. y WARNER, R.R. 2003. Applying ecological criteria to marine reserve design: a case study from the California Channel Islands. *Ecological Applications*, 13 (1): 170-184.

ALONSO D.A. 2006. Avances en el diseño de áreas marinas protegidas del Caribe continental y perspectivas a futuro. Taller biodiversidad del margen continental: comunidades coralinas de profundidad. Programa de Investigación para Gestión Marina y Costera. INVEMAR. Informe técnico. 39 p.

ALLEN, J.R.L. y WELLS, J.W. 1962. Holocene coral banks and subsidence in the Niger Delta. *The Journal of Geology*, 70 (4): 381-397.

ANDERSON, R.P.; LEW, D. y PETERSON A.T. 2003. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modeling*, 162: 211-232.

BECERRA, J.; GARAY, J.A.; MENDOZA, A.; PEDRAZA, R. y VÉLEZ, M.T. 1998. Propuesta metodológica para el diagnóstico ambiental de áreas insulares como base para su ordenamiento territorial. Estudio de caso: Archipiélago Isla del Rosario. Pontificia Universidad Javeriana – IDEADE. Maestría en gestión ambiental para el desarrollo sostenible con énfasis e Zonas Costeras. Cartagena de Indias D.T.Y.C. 165 p.

BENAVIDES-SERRATO, M. y BORERO-PÉREZ G. 2000. Equinodermos de la franja superior del talud continental del Caribe colombiano. Santa Marta, Colombia. Trabajo de grado (Biólogo Marino). Facultad de Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. 527 p.

BRUCKNER, A.W. 2002. Life saving products from coral reefs. *Issues in Science and Technology* (online). http://www.nap.edu/issues/18.3/p_bruckner.html, (fecha de consulta: octubre de 2005).
BURKE, L. y MAIDENS, J. 2005. Arrecifes en peligro en el Caribe. World resources institute. Washington DC. 80 p.

BUTLER, M. 2005. Conserving in Atlantic Canada: a historical perspective. En: Freiwald A. y Roberts J.M. (eds) Cold-water Corals and Ecosystems. Springer, Berlin Heidelberg, 1199-1209.

CAIRNS, S.D. 2000. A revision of the shallow-water azooxanthellate scleractinia of the western Atlantic. *Studies of the natural history of the Caribbean region*, 75: 1-240.

_____. 1979. The deep-water scleractinia of the Caribbean sea and adjacent waters. *Studies on the fauna of Curacao and other Caribbean islands*, 57 (108): 1-341.

CARPENTER, K.E. 2002. The living marine resources of the Western Central Atlantic. *FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication. Volume 2 - 3: No. 5. Rome, FAO. pp. 601-2127.*

CARR, M. 1996. Primer user manual (Plymouth routines in multivariate ecological research). Plymouth Marine Laboratory. 41 p.

CENTRO DE INVESTIGACIONES OCEANOGRÁFICAS E HIDROGRÁFICAS (CIOH) y CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE (CARDIQUE). 1998. Caracterización y diagnóstico integral de la zona comprendida entre Galerazamba y bahía Barbaçoas. Cartagena. 160 p.

CLARKE, K. y WARWICK, R. 1994. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth Marine Laboratory. Natural Environment Research Council. UK. 131 p.

CORSI, F.; DUPRÈ, E. y BOITANI, L. 1999. A large-scale model of wolf distribution in Italy for conservation planning, *Conserv. Biol.*, 13: 150–159.

CRUZ, C. 2001. Caracterización de los crustáceos decápodos de la franja superior del talud continental (300 – 500 m prof.) en la parte sur del Caribe colombiano. Santa Marta, Colombia. Trabajo de grado (Biólogo). Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. 354 p.

DAVIS, R.A. 1983. Principles of oceanography. Addison-Wesley publishing company (Eds). University of South Florida. 505 p.

DesktopGarp. 2006. The University of Kansas Center for Research. Kansas, USA. DesktopGarp homepage (online). <http://www.lifemapper.org/desktopgarp>, (fecha de consulta: febrero de 2006).

DeVOGELAERE, A.P.; BURTON, E.J.; TREJO, T.; KING, C.E.; CLAGUE, D.A.; TAMBURRI, M.N.; CAILLIET, G.M.; KOCHEVAR, R.E. y DOUROS W.J. 2005. Deep-sea coral and resource protection at the Davidson Seamount, California, U.S.A. En: Freiwald A. y Roberts J.M. (eds) Cold-water Corals and Ecosystems. Springer, Berlin Heidelberg, 1189-1198.

DONS, C. 1944. Norges korallrev. Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab, Forhandling, 16: 37-82.

ESRI, 1998. ArcView GIS, version 3.1. Environmental Systems Research Institute Inc., Redlands, CA.

FOUBERT, A.; BECK, T.; WHEELER, A.J.; OPDERBECKE, J.; GREHAN, A.; KLAGES, M.; THIEDE, J.; HENRIET, J-P. y POLARSTERN, ARK-XIX/3a. 2005. New view of the Belgica mounds, porcupine seabight, NE Atlantic: preliminary results from the Polarstern ARK-XIX/3a. En: Freiwald A. y Roberts J.M. (eds) Cold-water Corals and Ecosystems. Springer, Berlin Heidelberg, 403-415.

FREDERICKSEN, R.; JENSEN, A. y WESTERBERG, H. 1992. The distribution of the scleractinian coral *Lophelia pertusa* around the Faroe Islands and the relations to internal tidal mixing. Sarsia, 77: 157-171.

FREIWALD, A.; HÜHNERBACH, V.; LINDBERG, B.; WILSON, J.B. y CAMPBELL, J. 2002. The Sula reef complex, Norwegian shelf. Facies, 47: 179-200.

FREIWALD, A.; WILSON, J.B., y HENRICH, R. 1999. Grounding pleistocene icebergs shape recent deep-water coral reefs. Sedimentary Geology, 125: 1-8.

GERHARTZ, J.L. 2005. Curso: introducción a la planificación sistemática de áreas marinas protegidas. Santa Marta, Septiembre 12 al 16 del 2005.

GRACIA, M.A. 2000. Taxocenosis de los moluscos epibentónicos de la franja superior del talud continental (300 y 500 m) entre Punta Gloria y Cabo Tiburón. Caribe colombiano. Santa Marta, Colombia. Trabajo de grado (Biólogo Marino). Facultad de Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. 382 p.

HALPERN, B.S. 2003. The impact of marine reserves: do reserves work and does reserve size matter? *Ecological Applications*, 13: 117–137.

HATCHER, B.G. y SCHEIBLING, R.E. 2001. What determines whether deep-water corals build reef: do shallow reef models apply? *Proceeding of the first international symposium on deep-sea corals*. J.H. Martin Willison *et al.* (eds.). Ecology action center and Nova Scotia Museum, Halifax. Nova Scotia, 145-155.

HIRSHFIELD, M.F.; ROBERTS, S. y ALLISON, D.L. 2005. Oceana's efforts to protect deep-sea coral in the United States. *En*: Freiwald A. y Roberts J.M. (eds) *Cold-water Corals and Ecosystems*. Springer, Berlin Heidelberg, 1141-1149.

HOLLAND, J.H. 1975. *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. University of Michigan Press, Ann Arbor, 183 p.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS y COSTERAS "José Benito Vives de Andrés" (INVEMAR). 2004. Plan de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente para operación del B/I Ancón. 260 p.

_____. 2002. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. Diagnóstico Nacional 2002. 52 p.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS y COSTERAS "José Benito Vives de Andrés" (INVEMAR). 2000. Programa Nacional de Investigación en Biodiversidad Marina y Costera PNIBM. Díaz, J.M. y Gómez-López D.I (eds). Santa Marta: INVEMAR, FONADE, MMA. 83 p.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS y COSTERAS "José Benito Vives de Andrés" (INVEMAR) – CVS – CARSUCRE. 2001. Formulación del plan de manejo integrado de la unidad ambiental costera y estuarina del río Sinú y golfo de Morrosquillo, Caribe colombiano. Informe técnico. 43 p.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS y COSTERAS "José Benito Vives de Andrés" (INVEMAR) – UAESPNN – CARDIQUE – EPA – CARTAGENA. 2003. "Modelo de Desarrollo Sostenible para los Archipiélagos del Rosario y San Bernardo". Resolución 456 - 03. Santa Marta, Colombia. Informe Técnico. 256 p + anexos.

KELLEHER, G.; BLEAKLY, C. y WELLS, S. 1995. A global representative system of marine protected areas. Vol. II. The Great Barrier Reef Marine Park Authority, The World Bank, and The World Conservation Union (IUCN). Environment Department, World Bank, Washington, D.C., USA.

KELLEHER, G. y KENCHINGTON, R. 1992. Guidelines for establishing marine protected areas. A Marine Conservation and Development Report. IUCN, Gland, Switzerland.

_____. 1991. Guidelines for establishing marine protected areas. A Marine Conservation and Development Report. IUCN, Gland, Switzerland. 90 p.

KRIEGER, K.G. 2001. Coral (*Primnoa*) impacted by fishing Gear in the Gulf of Alaska. Proc. First Int. Symp. Deep-sea Corals. Halifax, 106-116.

LATTIG, P. 2000. Porifera, Cnidaria y Annelida de la franja superior del talud continental (200 – 500 m) del Caribe colombiano. Santa Marta, Colombia. Trabajo de grado (Biólogo). Facultad de Ciencias. Pontificia Universidad Javeriana. 382 p.

LAVRETTE, T.L. y METAXAS, A. 2005. Predicting habitat for two species of deep-water coral on the Canadian Atlantic continental shelf and slope. *En*: Freiwald A. y Roberts J.M. (eds) Cold-water Corals and Ecosystems. Springer, Berlin Heidelberg, 467-479.

LOURIE, S.A. y VINCENT A.C. 2004. Using Biogeography to Help Set Priorities in Marine Conservation. *Conservation Biology*, 18 (4): 1004–1020.

MANJARRÉS, L.; ZÚÑIGA, H.; DUARTE, L.O.; GARCIA, C.B.; CAUSADO, E.; ALTAMAR, J.; VIAÑA, J.; ESCOBAR, F.; CUELLO, F.; PÉREZ, D.; RIOS, D.; TEJADA, K. y SÁNCHEZ, J. 2006. Evaluación de innovaciones en la tecnología de captura de la pesquería industrial de arrastre camaronero del Caribe colombiano. Con fines ecológicos y de productividad. Programa de investigación e innovación tecnológica de la flota industrial camaronera del Mar Caribe de Colombia. Grupo de investigación "Evaluación y Ecología Pesquera" – GIEEP. Laboratorio de Investigaciones Pesqueras Tropicales – LIPET. Instituto de Investigaciones Tropicales –INTROPIC. Universidad del Magdalena. INVEMAR (Coord. Nal. Proy. FAO). Dista LTDA., Pesquera Continental S.A. y ASOPESCARIBE. Informe técnico. 57 p.

MARGALEF, R. 1982. *Ecología*. Ediciones Omega, Barcelona. 951 p.

MARGULES, C.R.; PRESSEY, R.L. y WILLIAMS, P.H. 2002. Representing biodiversity data and procedures for identifying marine areas of conservation. *J. Biosci*, 27 (Suppl. 2) (4): 309–326.

MARGULES, C.R. y PRESSEY R.L. 2000. Systematic conservation planning. *Nature*, 405: 243-253.

MARTINEZ, A. (En preparación). Caracterización sedimentológica y de procesos en los alrededores del Archipiélago de San Bernardo. Santa Marta, Colombia. Trabajo de grado (optar al título de Geólogo). Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Universidad Industrial de Santander.

MEDINA, M. 2002. Ensamblaje de peces demersales explotados por la flota industrial camaronera en la plataforma continental de La Guajira (Caribe colombiano). Santa Marta, Colombia. Trabajo de grado (Biólogo Marino). Facultad de Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. 85 p.

MORGAN, L.E.; ETNOYER, P.; SCHOLZ, A.J.; MERTENS, M. y POWELL M. 2005. Conservation and management implications of deep-sea coral and fishing effort distributions in the Northeast Pacific Ocean. En: Freiwald A. y Roberts J.M. (eds) Cold-water Corals and Ecosystems. Springer, Berlin Heidelberg, 1171-1187.

MORA, J. 1989. Observaciones sobre la pesca industrial del camarón en la península de la Guajira. Inf Téc. INDERENA. Cartagena.

MORTENSEN, P.B.; HOVLAND, M.T.; FOSSA, J.H. y FUREVIK, D.M. 2001. Distribution, abundance and size of *Lophelia pertusa* coral reefs in mid-Norway in relation to seabed characteristics. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 81: 581-597.

NICHOLLS, A.O. 1989. How to make biological surveys go further with generalized linear models. Biol. Conserv., 50: 51-75.

OSORIO, D. 1986. Estimaciones de las capturas de camarón y fauna acompañante, en el Caribe colombiano durante el 6 - 12 de junio de 1986. Informe Técnico. Centro de Investigaciones pesqueras. INDERENA. Cartagena. 41 p.

PETERSON, A.T.; EGBERT, S.L.; SÁNCHEZ-CORDERO, V. y PRICE, K.P. 2000. Geographic analysis of conservation priority: endemic birds and mammals in Veracruz, Mexico. Biol. Conserv., 93: 85-94.

PETERSON, A.T.; SOBERÓN, J. y SÁNCHEZ-CORDERO, V. 1999. Conservatism of ecological niches in evolutionary time. Science, 285: 1265-1267.

PETERSON, A.T. y VIEGLAIS, D.A. 2001. Predicting species invasions using ecological niche modeling: new approaches from bioinformatics attack a pressing problem. Bioscience, 51: 363-371.

POLASKY, S.; CAMMB, J.D.; SOLOWIC, A.R.; CSUTID, B.; WHITEE, D. y DINGF, R. 2000. Choosing reserve networks with incomplete species information. Biological Conservation, 94: 1-10.

PRAHL, V. y ERHARDT H. 1988. Lista anotada de corales ahermatípicos de Colombia. VI Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar. Comisión colombiana de oceanografía. Universidad Jorge Tadeo Lozano. 539-556.

PUGLISE, K.A.; BROCK R.J. y MCDONOUGH J.J. 2005. Identifying critical information needs and developing institutional partnerships to further the understanding of Atlantic deep-sea coral ecosystems. En: Freiwald A. y Roberts J.M. (eds) Cold-water Corals and Ecosystems. Springer, Berlin Heidelberg, 1129-1140.

REED, J.K. y MIKKELSEN, P.M. 1987. The molluscan community associated with the scleractinian coral *Oculina varicosa*. Bull. Mar. Sci., 40: 99-131.

REMIÀ, A. y TAVIANI, M. 2005. Shallow-buried Pleistocene Madrepora-dominated coral mounds on a muddy continental slope, Tuscan Archipelago, NE Tyrrhenian Sea. Facies, 50: 419–425.

REYES, J.; SANTODOMINGO, N.; GRACIA, A.; BORRERO-PÉREZ, G.; NAVAS, G.; MEJÍA-LADINO, L.M.; BERMÚDEZ, A. y BENAVIDES, M. 2005. Southern Caribbean azooxanthellate coral communities off Colombia En: Freiwald A. y Roberts J.M. (eds) Cold-water Corals and Ecosystems. Springer, Berlin Heidelberg, 309-330.

REYES, J.; SANTODOMINGO, N.; GRACIA, A.; GARCIA, C.; POSADA, B.O. y NAVAS, G. 2006. Biodiversidad de las comunidades del margen continental colombiano. Fase 1. Comunidades coralinas de profundidad (100 – 300 m), criterios biológicos y geofísicos para la definición del área marina protegida de Islas del Rosario - San Bernardo. Informe final. INVEMAR – COLCIENCIAS. 8 p + Anexos.

REYES, J. y N. SANTODOMINGO. 2005. Azooxanthellate coral biodiversity in the Southern Caribbean. 3rd Internacional Symposium on Deep Sea Corals Science and Management. November 28th- December 2nd. Miami, Florida USA. Poster.

REYES, J. y SANTODOMINGO, N. 2002. Manual de identificación CITES de invertebrados marinos de Colombia. Serie de documentos generales / INVEMAR; No. 8; serie manuales de identificación CITES de Colombia. Medellín: Servigráficas. 97 p.

ROA, A. 2000. Caracterización de la comunidad íctica demersal de la región sur del Caribe colombiano (300 y 500 m) y algunas consideraciones zoogeográficas. Santa Marta, Colombia. Trabajo de grado (Biólogo). Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. 415 p.

ROBERTS, C.M.; ANDELMAN, S.; BRANCH, G.; BUSTAMANTE, R.H.; CASTILLA, J.C.; DUGAN, J.; HALPERN, B.S.; LAFFERTY, K.D.; LESLIE, H.; LUBCHENCO, J.; MCARDLE, D.; POSSINGHAM, H.P.; RUCKELSHAUS, M. y WARNER, R.R. 2003a. Ecological criteria for evaluating candidate sites for marine reserves. *Ecological Applications*, 13 (1): 199-214.

ROBERTS, C.M.; ANDELMAN, S.; BRANCH, G.; BUSTAMANTE, R.H.; CASTILLA, J.C.; DUGAN, J.; HALPERN, B.S.; LAFFERTY, K.D.; LESLIE, H.; LUBCHENCO, J.; MCARDLE, D.; RUCKELSHAUS, M. y WARNER, R.R. 2003b. Application of ecological criteria in selecting marine reserves and developing reserve networks. *Ecological Applications*, 13 (1): 215-228.

ROBERTS, C.M.; MCCLEAN, D.J.; VERON, J.E.N.; HAWKINS, J.P.; ALLEN, G.R.; MCALLISTER, D.E.; MITTERMEIER, C.G.; SCHUELER, F.W.; SPALDING, M.; WELLS, F.; VYNNE, C. y WARNER, T.B. 2002. Marine biodiversity hotspots and conservation priorities for tropical reefs. *Science*, 295: 1280–1284.

ROBERTS, C. y HAWKINS, K. 2000. Fully-protected marine reserves: a guide. WWF endangered seas campaign, 1250 24th St., NW, Washington, DC 20037, USA and Environment Dept., University of York, YO10 5dd, UK.

ROBINS, C.R.; RAY, C.G. y DOUGLASS, J. 1986. A field guide to Atlantic coast fishes of North America. Houghton Mifflin. Co. Boston. 354 p.

SALM, R.V.; CLARK J. y SIRILA, E. 2000. Marine and coastal protected areas: a guide for planners and managers. IUCN. Washington DC. XXI. 371 p.

SALM, R.V. y CLARK, J. 1984. Marine and coastal protected areas: a guide for planners and managers. IUCN, Gland, Switzerland. 396 p.

SANTODOMINGO, N. y REYES, J. 2003. Are there southern Caribbean deep-sea coral banks? Three possible scenarios. Abstract 2nd international symposium on deep-sea corals. Erlanger. Poster.

SAUER, W.H.H.; SMALE, M.J. y LIPINSKI, M.R. 1992. The location of spawning grounds, spawning and schooling behaviour of the squid *Loligo vulgaris reynaudii* (Cephalopoda: Myopsida) off the eastern Cape Coast, South Africa. *Marine Biology*, 114: 97–107.

SHESTER, G. y AYERS J. 2005. A cost effective approach to protecting deep-sea coral and sponge ecosystems with an application to Alaska's Aleutian Islands region. En: Freiwald A. y Roberts J.M. (eds) *Cold-water Corals and Ecosystems*. Springer, Berlin Heidelberg, 1151-1169.

STEVENS, T. y CONNOLLY, R.M. 2004. Testing the utility of abiotic surrogates for marine habitat mapping at scales relevant to management. *Biological Conservation*, 119: 351-362.

TAMBUTTÉ, E.; ALLEMAND, D.; MUELLER, E. y JAUBERT, J. 1996. A compartmental approach to the mechanism of calcification in hermatypic corals. *The Journal of Experimental Biology*, 199: 1029-1041.

TAVARES M. 2002. The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 1: Introduction, molluscs, crustaceans, hagfishes, sharks, batoid fishes, and chimaeras. Shrimps. En: Carpenter, K.E. (eds.) *FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication No. 5*. Rome, FAO. 1-600.

TAVIANI, M.; REMIA, A.; CORSELLI, C.; FREIWALD, A.; MALINVERNO, E.; MASTROTOTARO, F.; SAVINI, A. y TURSI, A. 2005. First geo-marine survey of living cold-water *Lophelia* reefs in the Ionian Sea (Mediterranean basin). *Facies*, 50: 409-417.

THE NATURE CONSERVANCY. 2004. Conservation by Design. Workshop, 1-9.

TUNESI, L.; DIVIACCO G. y MO, G. 2001. Observations by submersible on the biocoenosis of the deep-sea corals off Portofino promontory (Northwestern Mediterranean Sea). *Proc. First Int. Symp. Deep-sea Corals*. Halifax, 76-87.

UNEP (United Nations Environment Programme). 2006. WWF's North-East Atlantic programme (online). <http://www.ngo.grida.no/wwfneap/Publication/briefings>, (fecha de consulta: febrero de 2006).

UNEP (United Nations Environment Programme) – WCMC (World Conservation Monitoring Centre) – IUCN (International Union for Conservation of Nature and Nature Resources) – WCPA (World Commission on Protected Areas) – WWF (World Wild Fund). 2005. MPA Global. A database of the world's Marine Protected Areas. (online). <http://www.mpaglobal.org/index.php?action=search>, (fecha de consulta: marzo de 2005).

VANDERKLIFT, M.A.; WARD, T.J. y PHILLIPS, J.C. 1998. Use of assemblages derived from different taxonomic levels to select areas for conserving marine biodiversity. *Biological Conservation*, 86: 307-315.

VERNETTE, G. 1985. La Plateforme continentale Caraïbe de Colombie (du débouché du Magdalena au golfe du Morrosquillo). Importance du diapirisme argileux sur la morphologie et la sédimentation. Thèse de doctorat d'état en sciences à l'Université de Bordeaux. 318 p.

_____. 1982. Estandarización de los criterios sedimentológicos para la cartografía de la plataforma continental. *Bol. Cient. CIOH*, 4: 3-13.

VIAÑA, J.E.; MEDINA, J.A.; Barros, M. y Manjarrés, L.M. 2002. Evaluación de la ictiofauna demersal extraída por la pesquería industrial de arrastre en el área norte del Caribe colombiano. Informe INPA-COLCIENCIAS.

ZÚÑIGA, H.; ALTAMAR, J. y MANJARES, L. 2006. Caracterización tecnológica de la flota de arrastre camaronero del Mar Caribe de Colombia. Proyecto Innovación Tecnológica de la Flota Industrial Camaronera del Mar Caribe de Colombia (FAO-GEF-UNEP). Colombia. 21 p.

WILLIAMS, P.H. y GASTON, K.J. 1994. Measuring more of biodiversity: can higher-taxon richness predict wholesale species richness? *Biological Conservation*, 67: 211-217.

ANEXOS

Anexo A. Organizaciones que trabajan en la conservación de las comunidades coralinas de profundidad.

NOMBRE	PAGINA WEB	PAÍS
Conservation International	http://www.conservation.org/	Mixto
Greenpeace	http://www.greenpeace.org/	Mix
Marine Conservation Biology Institute (MCBI)	http://www.mcbi.org/	USA
Natural Resources Defense Council (NRDC)	http://www.nrdc.org/	USA
Oceana	http://www.oceana.org/	Mixto
The Pew Charitable Trusts	http://www.pewtrusts.com/	Mixto
Seas At Risk	http://www.seas-at-risk.org/	Mixto
The Antarctic and Southern Ocean Coalition (ASOC)	http://www.asoc.org/	Mixto
Australian Conservation Foundation	http://www.acfonline.org.au/	Australia
Asociación 4 Paz	http://www.4paz.org/	España
The Biological Conservation Research Foundation	http://sites.keyworld.net/bicref	Mixto
BirdLife International	http://www.birdlife.net/	Mixto
The Cat Point Creek Research Project		USA
CeDePesca	http://www.cedepesca.org.ar/	Argentina
Center for International Environmental Law (CIEL)	http://www.ciel.org/	Mixto
Centro de Conservación Cetácea (CCC)	http://www.ccc-chile.org	Chile
Centro Ecoceanos	http://www.ecoceanos.cl/	Chile
Centro Mexicano de Derecho Ambiental	http://www.cemda.org.mx/	México
Coalition Clean Baltic (CCB)	http://www.ccb.se/	Mixto
DAR		Perú
David Suzuki Foundation	http://www.davidsuzuki.org/	USA
DEEPWAVE	http://www.deepwave.org/	Mixto
DEPANA	http://www.depana.org/	Mixto
Ecologistas en Acción	http://www.ecologistasenaccion.org/	España
Environment and Conservation Organizations of New	http://www.eco.org.nz/	NuevaZelanda
Ecology Action Centre	http://www.ecologyaction.ca/	Canadá
The Fisheries Secretariat	http://www.fishsec.org/	Mixto
Forest and Bird	http://www.forestandbird.org.nz/	NuevaZelanda
Fundación Cethus	http://www.cethus.org/	Argentina
Fundación Jatun Sacha	http://www.jatunsacha.org/	Ecuador
George Institute for Biodiversity and Sustainability	http://www.georgeconservation.org/	Mixto
International Collective in Support of Fishworkers (ICSF)	http://www.icsf.net/	Mixto
Iceland Nature Conservation Association (INCA)	http://www.inca.is/	Islandia
Instituto de Conservación de Ballenas (ICB)	http://www.icb.org.ar/	Argentina
International Fund for Animal Welfare, Latin America	http://www.ifaw.org/ifaw/general/default.a	México
Living Oceans Society	http://www.livingoceans.org/index.shtml	USA
Marine Research Foundation, Sabah, Malaysia	http://mrf-asia.org/	Malasia
MarViva	http://www.marviva.net/	Mixto
MEER	http://www.meer.org/	Mixto
Mundo Azul	http://www.peru.com/mundoazul	Perú
National Fisherworkers' Forum	http://www.wffp.org/nff1.asp	Mixto
Nomades des Océans (NDO)	http://nomadesdesoceans.free.fr/	Francia
Ocean Futures Society	http://www.oceanfutures.org	USA
Organización Conservación de Cetáceos (OCC)	http://www.ballenafranca.org/	Uruguay
Programa Restauración de Tortugas Marinas (PRETOMA)	http://www.tortugamarina.org/	Costa Rica
ProNaturaleza	http://www.pronaturaleza.org/	Perú
The Royal Society for the Protection of Birds	http://www.rspb.org.uk/	UK
SPDA (Sociedad peruana de Derecho Ambiental)	http://www.spda.org.pe/	Perú
Universidad Nacional Federico Villare	http://www.cooperacion.org.pe/	Perú
World Forum of Fisher Peoples (WFFP)	http://www.wffp.org/index.asp	Mixto

Anexo C. Abundancia de las especies del grupo de los crustáceos para las 17 estaciones de muestreo en la ecorregión ARCO registradas en el cruce MACROFAUNA con su respectiva profundidad y número de arrastre.

Especies	Profundidad (m)	CRUSTACEOS																	
		280-282		296	280-284	269-317	461-510	490-520	496-520	286-313	288-315	498-500	490-498	500-507	270-280	150-151	89	70	155-160
		Arrastres	E47-48	E75-76	E73-74	E67-68	E77-78	E71-72	E69-70	E63-64	E59-60	E65-66	E61-62	E149-150	E153-154	E144-155	E147-148	E151-152	E155-156
Estaciones	INV 027	INV 029	INV 030	INV 033	INV 028	INV 031	INV 032	INV 035	INV 037	INV 034	INV 036	INV 032B	INV 033B	INV 071	INV 072	INV 072B	INV 073		
Acanthocarpus alexandri		1	1	1	3														
Anasimus latus															2	7	6		
Anomalothir frontalis																		17	
Aristaemorpha foliacea				3		25	3	3		1	2	1	9						
Calappa sulcata															2				
Chasmocarcinus cylindricus		1	10	6	5				4	1				4	82	10	71	2	
Chasmocarcinus obliquus			2	1										1					
Chasmocarcinus typicus															45				
Chyrostilidae sp1													2						
Chyrostilidae sp2																		1	
Chyrostilidae sp3																		4	
Collodes robustus				1								1							
Collodes trispinosus																		1	
Ctenocheles sp				1															
Cyclodorippe antennaria			1																
Dardanus fucosus													1						
Dromidia antillensis													1						
Ethusa microphthalmia			1	1	1														
Euchirograpsus americanus																		1	
Eugonatonotus crassus												1							
Eunephrops bairdii				2					4										
Euprogna rastellifera		1	4	1	2														
Farfantopenaeus notialis																1	2		
Gastrotychus sp						1	4	1											
Glyphocrangon longleyi						72	8	26				12	25						
Glyphocrangon neglecta						61	15	5			7	15	9						
Heterocarpus ensifer			2	2	1					4									
Homola barbata												1							
Iliacantha iodactylus																1	7		
Iliacantha subglobosa															20		1		
Leiolambrus nitidus																	5		
Lyreidus bairdii				3	3				4					2					
Lysmata sp				2					1										
Metanephrops binghami		2	2	3	5				10	13									
Mithrax cornutus																		1	
Munida benedicti															88			1	
Munida constricta							1												
Munida evermani			1	2														1	
Munida flinti		1	14	44	17			1	1	14	26			18	47			1	
Munida forceps		3												1	76				
Munida longipes		15	21	10	1	4	1	6	9	21	1	2	3	6					
Munida sp1														1					
Munida stimpsoni														14					
Munida valida													2						
Munidopsis brevismanus				1	1					1									
Munidopsis erinaceus				1				1					2		1				
Munidopsis longimanus													1						
Munidopsis polita						1													
Munidopsis ramahtaylorae						1	1					13							
Munidopsis riveroi				14		2	2	3				5	13						
Munidopsis sp1																		1	
Myropsis quinquespinosa			1	2	1				3										
Nancyplax vossi																4			
Nephropsis aculeata							2	2			2	6							
Oncopagurus gracilis						1	1	2											
Oplophorus graciliorostris						17					1	21							
Osachila antillensis																		1	
Paguristes sp.															2				
Paguristes sp1						1													
Palicus cursor			8		1					4									
Palicus floridanus		1	1		1														
Palicus gracilipes															4				
Palicus gracilis												1							
Palicus sicus																		1	
Pantomus parvulus			2	4						2									
Pantomus sp																		32	
Paragiopagurus pilimanus		1	2	1					1	5				1	35				
Parapeneus politus		3	7	10	19		2		4	8				29	22			3	
Parapontocaris caribbaea			5		5			1	1	3									
Parapontocaris vicina						5	1					5	3						
Parapontophilus gracilis		1				7	2	4					2						

Anexo D. Continuación de la abundancia de las especies del grupo de los crustáceos para las 17 estaciones de muestreo en la ecorregión ARCO registradas en el crucero MACROFAUNA con su respectiva profundidad y número de arrastre.

Especies	Profundidad (m) Arrastres	CRUSTACEOS																
		280-282	296	280-284	269-317	461-510	490-520	496-520	286-313	288-315	498-500	490-498	500-507	270-280	150-151	89	70	155-160
		E47-48 INV 027	E75-76 INV 029	E73-74 INV 030	E67-68 INV 033	E77-78 INV 028	E71-72 INV 031	E69-70 INV 032	E63-64 INV 035	E59-60 INV 037	E65-66 INV 034	E61-62 INV 036	E149-150 INV 032B	E153-154 INV 033B	E144-155 INV 071	E147-148 INV 072	E151-152 INV 072B	E155-156 INV 073
Parribacac antarcticus								1										
Pasiphaea nishiei							1											
Penaeopsis serrata	13	22		9	20		13	22	23		16	5	18					
Persephona crinita																		1
Pilumnus caribbaeus														1				
Pleoticus robustus					8	2	2			3	11	6						
Plesionika acanthonotus		1			33	2	4		4		3							
Plesionika edwardsii			2					1										
Plesionika ensis					2													
Plesionika laevis					5	1												
Plesionika longipes	1		3					1	4									
Plesionika miles				1					2									
Plesionika tenuipes	9	56	3	27				28	38									
Polycheles typhlops					16	3	3				3							
Portunus gibbesii															2		14	
Portunus spinicarpus	1	1	14	3				7	3			1	3	14	114	77	7	
Prionocrangon pectinata					3			1			1							
Prionoplax atlantica																	1	
Processa profunda			5	3														
Psalidopus barbouri					6	1				1	2							
Pylopagurus discoidalis				1														1
Pylopagurus macgeorgi													1					
Pylopagurus sp					2													
Pyromaia acanthina		1		2				1										
Pyromaia propinqua																		1
Raninoides lamarcki														11	5	9		
Rochinia crassa	1									1								
Sicyonia stimpsoni																		
Solenocera vioscai		2	3			2		1					4	1		1		
Solenolambus typicus				1									1					
Stenorhynchus seticornis													1					2
Stenorhynchus yangii													1					1
Systellaspis pellucida						1						1						
Tetraxantus rathbune			3	1														
Tetraxantus sp			1															
Tetraxantus sp																	2	
Tomopagurus chacei					6		3											
Uroptychus uncter		1																
Xylopagurus anthonii	2	3	2	1		1		1	3									

Anexo E. Abundancia de las especies del grupo de los equinodermos para las 17 estaciones de muestreo en la ecorregión ARCO registradas en el crucero MACROFAUNA con su respectiva profundidad y número de arrastre.

Especies	EQUINODERMOS																		
	Profundidad (m)		280-282	296	280-284	269-317	461-510	490-520	496-520	286-313	288-315	498-500	490-498	500-507	270-280	150-151	89	70	155-160
	Arrastres	E47-48	E75-76	E73-74	E67-68	E77-78	E71-72	E69-70	E63-64	E59-60	E65-66	E61-62	E149-150	E153-154	E144-155	E147-148	E151-152	E155-156	
Estaciones	INV 027	INV 029	INV 030	INV 033	INV 028	INV 031	INV 032	INV 035	INV 037	INV 034	INV 036	INV 032B	INV 033B	INV 071	INV 072	INV 072B	INV 073		
Agassizia excentrica																		1	
Amphilmna mirabilis				1		1													
Amphilmna olivacea													1	1					
Amphiophiura oedignatha								1	1										
Amphioplus tumidus	16	8									8							1	
Amphipholis granulata																1			
Amphiphilozona delicata				2							3								
Amphiura rathbuni	16	6		6		1					3								
Amphiura sp.																	1		
Amphiura sp1	1	2				1													
Anthenoides piercei						2			4									2	
Araeosoma fenestratum	30	17		47		3			1		20							1	
Aspidodiadema jacobyi	2	18		6		12			16		14							1	
Asteropora annulata																		2	
Asteroschema cf. laeve																		1	
Asteroschema oligactes																		1	
Astrocnida isidis																		12	
Astropecten alligator						1													
Astropecten americanus					1		1								3				
Astropecten antillensis													5			48			
Astropecten nitidus									3										
Atelecrinus balanoides												5							
Bathyploetes natans			4		1			1	1										
Brissopsis atlántica	8	10		3					1	1					2			1	
Brissopsis elongata														6					
Caryometra atlantidis	1	1				7			2	6				6				1	
Cheiraster (Barbadosaster) echin	5	6		20	14	5			1	32	3							1	
Cheiraster (Cheiraster) planus		3	33					4	1		10			12					
Cheiraster (Cristopheraster) blakei					1														
Cheiraster (Cristopheraster) mirabilis									4		1			5					
Clypeaster euclastus													2					1	
Clypeaster lamprus																		11	
Coccometra guttata		1																	
Coccometra nigrolineata																		2	
Coelopleurus floridanus																		3	
Comactinia meridionalis												3						21	
Crinometra brevipinna																		1	
Democrinus confier																		1	
Dipsacaster antillensis		1				3			1										
Echinaster (Othilia) guyanensis																1			
Endoxocrinus parrae																		1	
Enypniastes eximia											1								
Histampica cf. dupliacata	3	2	13	4	33	4	10	1		2	17			15		9		3	
Holothuria (Cystipus) occidentalis	7												2		3			2	
Holothuria sp.									1										
Hypselaster limicolus				1															
Leptonemaster venustus																		30	
Luidia barbadensis						2				2									
Molpadia cubana	2	3		2															
Molpadia parva		1		3					1				2						
Nemaster rubiginosus																		5	
Nymphaster arenatus			2		1		2								3				
Ophiacantha echinulata							8	9			7			8					
Ophiacantha sertata											1								
Ophiacantha sp.																	1	15	
Ophiacantha valenciennesi																	2	1	
Ophiambix devaneyi																			
Ophirce antillarum		1								37									
Ophiernus adspersus adspersus			3		4		2	2			60			5					
Ophiocamax fasciculata										3	1								
Ophiochiton ternispinus								2						1					
Ophiodera stimpsonii				2															
Ophioderma appressum																		1	
Ophiomedea cf. sp2				5		3		1						1					
Ophiomitrella laevipellis																		3	
Ophiomusium acuferum							6		3	9							3	26	
Ophiomusium eburneum	1	2	1	11	3	2		1		3	1	3					3		
Ophiomusium testudo																		3	
Ophiomusium validum	9	33		27	21	23			9	26	1						20	1	
Ophioneis dolabriformis															1				
Ophiopaepale goesiana																		5	

Anexo F. Continuación de la abundancia de las especies del grupo de los equinodermos para las 17 estaciones de muestreo en la ecorregión ARCO registradas en el crucero MACROFAUNA con su respectiva profundidad y número de arrastre.

Especies	Profundidad (m)	EQUINODERMOS																	
		280-282		296	280-284	269-317	461-510	490-520	496-520	286-313	288-315	498-500	490-498	500-507	270-280	150-151	89	70	155-160
		Arrastres	E47-48	E75-76	E73-74	E67-68	E77-78	E71-72	E69-70	E63-64	E59-60	E65-66	E61-62	E149-150	E153-154	E144-155	E147-148	E151-152	E155-156
Estaciones	INV 027	INV 029	INV 030	INV 033	INV 028	INV 031	INV 032	INV 035	INV 037	INV 034	INV 036	INV 032B	INV 033B	INV 071	INV 072	INV 072B	INV 073		
Ophiophragmus risei																		1	
Ophioplax ljungmani																		6	
Ophiopristis hirsuta																		2	
Ophioprium cf. cervicornis			2							1									
Ophioszygus disacanthus																		2	
Ophiothyres goesi																		154	
Ophiotrema gracilis					1			5											
Ophiura acervata	2	2		8		9				1	2			7		1	3	2	
Ophiura falcifera					6			2											
Ophiura sp.								1											
Paleopneustes cristatus			1		1													1	
Paleopneustes tholoformis																		15	
Persephonaster echinulatus				1	1			1						1					
Phormosoma placenta				34		158	1	41	3			8		42			1		
Plinthaster dentatus									1										
Plutonaster agassizi agassizi																		10	
Prionaster elegans	1	5		3	4	1					2							1	
Pseudostichopus occulatus	2																		
Pteraster militarioides militarioides					1									1					
Pteraster personatus					1														
Stylocydaris lineata			1							3	1						1	5	
Stylometra spinifera																		10	
Thyone tanyspeira													6						
Trichometra cubensis			1		1	2	1	1					1		2				
Ypsilothuria talismanni	3	4		2							2				1				

Anexo H. Continuación de la abundancia de las especies del grupo de los moluscos para las 17 estaciones de muestreo en la ecorregión ARCO registradas en el crucero MACROFAUNA con su respectiva profundidad y número de arrastre.

Especies	Profundidad (m)	MOLUSCOS																
		Arrastres																
		280-282 INV 027	296 INV 029	280-284 INV 030	269-317 INV 033	461-510 INV 028	490-520 INV 031	496-520 INV 032	286-313 INV 035	288-315 INV 037	498-500 INV 034	490-498 INV 036	500-507 INV 032B	270-280 INV 033B	150-151 INV 071	89 INV 072	70 INV 072B	155-160 INV 073
Haliris fischeriana						1						1						
Harasewychia harasewychi					1					1		1						
Heteroteuthis dispar	1		1						2				1					
Hyalorisia galea					2					1								
Idasola argentea			1							1	1	7						
Illex coindetii													1					
Laevidentalium callipeplum	2	6	2	5			1	6					19	1				
Laevityphis sp.					1													
Latiromitra sp.													1					
Leptochiton binghami		2		1			1	3	7	10	4	10	2					
Leucosyrinx verrillii										2		4						
Limopsis sulcata										1								
Loligo roperi																4		
Loligo sp. 1																1		
Lucapina sp. 1														23			1	
Lyonsiella cordata			1															
Macoma tageliformis															3			
Macoma tenta												1			23	60		
Manaria fusiformis											2							
Martesia striata												4						
Mitra cf. straminea													2					
Murex sp.																	3	
Myonera paucistriata					4	5				4	3	1						
Myrtea lens													1					
Myrtea prystiphora														7				
Nassarius scissuratus													1					
Nassarius sp.																	2	
Neilo dilatata					6		3			1		83				1		
Nemocardium peramabile		1		3									3				8	
Nemocardium tinctum																4		
Niso aeglees																	1	
Notocrater houbrieki													1	1	2			
Nucula sp.														4				
Nucula tenuis										1	1	1						
Nuculana acuta									1				4				16	
Nuculana cestrota															108	14		
Nuculana concentrica																	1	
Octopus sp. 3													1					
Octopus sp. 4												1						
Octopus zonatus														1				
Oocorys bartschi clericus							1				1							
Opisthoteuthis agassizi										1	1							
Orthoyoldia crosbyana															1	51		
Orthoyoldia scapania												1						
Parvamussium pourtalesianum	97	106	106	53				214	43	3			367				5	
Parvamussium sayanum				7				2	1				9					
Parviturbo sp.								1										
Pectinodonta arcuata											12	14	2					
Pitar arestus																	1	
Plicatula gibbosa																	1	
Poirieria actinophora	1	4	2	3				3	1				3					
Polinices sp.													1					
Polystira tellea		2	4	1				8	3								1	
Poromya margarita					6	9	2			10	7	9						
Poromya rostrata				1											3	5	2	
Propeamussium dalli		1			24	8	16			2	7	6	23					
Pseudocypthoma intermedium																	1	
Puncturella granulata			1															
Scaphander watsoni rehderi	1									1							1	
Semirossia tenera	2		1	3	1			2	6				6	4			1	
Siratus beauui		1	2										1					
Solariella lubrica	11			1				1										
Solecurtus cumingianus																	3	
Teinostoma cf. coccolitoris													1					
Tellina juttingae															10	24		
Tellina martinicensis															41			
Tellina persica															3			
Tellina probrina														1			41	
Terebra sp. 2												4					44	
Thyasira cf. bisecta													1					
Thyasira conia											1							

Anexo I. Continuación de la abundancia de las especies del grupo de los moluscos para las 17 estaciones de muestreo en la corrección ARCO registradas en el crucero MACROFAUNA con su respectiva profundidad y número de arrastre.

		MOLUSCOS																	
Profundidad (m)	Arrastres	280-282	296	280-284	269-317	461-510	490-520	496-520	286-313	288-315	498-500	490-498	500-507	270-280	150-151	89	70	155-160	
Especies	Estaciones	E47-48	E75-76	E73-74	E67-68	E77-78	E71-72	E69-70	E63-64	E59-60	E65-66	E61-62	E149-150	E153-154	E144-155	E147-148	E151-152	E155-156	
		INV 027	INV 029	INV 030	INV 033	INV 028	INV 031	INV 032	INV 035	INV 037	INV 034	INV 036	INV 032B	INV 033B	INV 071	INV 072	INV 072B	INV 073	
Timothyus rehderi																		1	
Tindaria cytherea					1				2	1				26					
Varicopeza crystallina			4	1	1				6	1				7					
Verticordia acuticostata													2	2					
Vesicomya caribbea													1						
Vexillum styria					2									1					
Vitrinella sp.													1						
Volvarina monicae																	1		
Xenophora conchyliophora																			2
Xenophora longleyi				2				1			1	2							
Xylophaga atlantica													4	3					
Xylophaga cf. abyssorum													3	1					

Anexo K. Continuación de la abundancia de las especies del grupo de peces para las 17 estaciones de muestreo en la ecorregión ARCO registradas en el cruce MACROFAUNA con su respectiva profundidad y número de arrastre.

Especies	Estaciones	PECES																											
		280-282		296	280-284		269-317		461-510		490-520		286-313		288-315		498-500		490-498		500-507		270-280		150-151		89	70	155-160
		E47-48	E75-76	E73-74	E67-68	E77-78	E71-72	E69-70	E63-64	E59-60	E65-66	E61-62	E149-150	E153-154	E144-155	E147-148	E151-152	E155-156											
		INV 027	INV 029	INV 030	INV 033	INV 028	INV 031	INV 032	INV 035	INV 037	INV 034	INV 036	INV 032B	INV 033B	INV 071	INV 072	INV 072B	INV 073											
Myxine mcoskeri		1				2	1																						
Neobythites gilli		4	11	3	15				7	11																			
Neobythites marginatus			2				3				4	2																	
Neopinnula americana			1																										
Neomerinthe beanorum														1	8			26											
Neoscombrops atlanticus													1																
Neoscopelus macrolepidotus						1	2					2	1																
Neoscopelus microchoir					1	1	6				8																		
Nezumia aequalis						5	2	3			1	8	5																
Parahollandia schmidti				1											8														
Peristedion greyae							2				1																		
Peristedion longispatha						3	1				2		1																
Peristedion truncatum						2				1	1																		
Phenacoscorbis nebris										1																			
Photichthyidae sp						1																							
Physiculus fulvus				1					1									1											
Pikea cubensis													1	1															
Poecilopsetta inermis		1	15		8	1			6	10	10	1		3															
Polyipnus asteroides				2																									
Polymetme corythaeola				1																									
Polymixia lowei				1	1	3			1	3	1	1																	
Pontinus longispinis			1																										
Pontinus nematophthalmus													2					3											
Porichthys plectrodon															27	13	1												
Prionotus beanii																1		1											
Prionotus punctatus																12	24												
Prionotus stearnsi															69														
Pristigenys alta																		2											
Pristipomoides macrophthalmus				1											1														
Rypticus bistrispinus														1	1														
Saurida brasiliensis													1	30	20	84													
Saurida normani														1															
Scorpaena agassizii																		2											
Scorpaena albifimbria																		1											
Scorpaena calcarata																		1											
Selar crumenophthalmus													1																
Serranus atrobranchus														55	25	26	6												
Setarches quentheri				1	5	2		1		1	1			4															
Sphoeroides georgemilleri															1														
Steindachneria argentea						3	2																						
Syacium gunteri																12	19												
Symphurus hernandezii																		1											
Symphurus marginatus						1						2	1																
Symphurus parvus																		2											
Symphurus pelicanus																1													
Symphurus piger																		3											
Symphysanodon berryi				3																									
Synagrops bellus			1		1				1	3		1	4	26				3											
Synagrops pseudomicrolepis			5		2					2																			
Synagrops spinosus			2						1																				
Synagrops trispinosus			1				1																						
Synodus poeyi																													
Thalassophryne maculosa															9	38		1											
Trichiurus lepturus															2														
Trichopsetta caribbaea															4														
Upeneus parvus																		1											
Xenomystax congroides				9																									
Zaleutes mcginbyi		1								2	1																		
Zenion hololepis			20	2	3		3		5	2	3	1		1															