

GEOMORFOLOGÍA Y UNIDADES ECOLÓGICAS DEL COMPLEJO DE ARRECIFES DE LAS ISLAS DEL ROSARIO E ISLA BARÚ (MAR CARIBE, COLOMBIA)[‡]

por

María Helena Cendales¹, Sven Zea¹ & Juan Manuel Díaz².

Resumen

Cendales, M.H., Zea, S. & Díaz J.M.: Geomorfología y unidades ecológicas del complejo de arrecifes de las Islas del Rosario e Isla Barú (Mar Caribe, Colombia). Rev. Acad. Colomb. Cienc. 26(101): 497-510. ISSN 03070-3908.

Se complementó la cartografía temática de los biotopos marinos de arrecifes del archipiélago del Rosario e Isla Barú, Caribe continental colombiano. El archipiélago es un complejo de arrecifes holocénico con terrazas, arrecifes franjeantes y bajos tipo bancos coralinos, formado por la interacción entre diapirismo de lodo, cambios relativos del nivel del mar y crecimiento de arrecifes. Las unidades ecológicas corresponden a la zonificación vertical coralina del Caribe continental. Hay grandes extensiones de corales *Acropora* spp. muertos y entre ellos se desarrollan otros organismos (principalmente algas), resultando en un reemplazo de especies dominantes y en cambios en el esquema de zonación. Las especies sobrevivientes se encuentran en regular estado de salud, afectadas por condiciones de estrés de origen regional y local.

Palabras clave: Arrecifes coralinos, cartografía, geomorfología, zonación, salud coralina, Islas del Rosario, Isla Barú, Colombia, Caribe.

Abstract

The thematic cartography of the reef biotopes of the Islas del Rosario archipelago and Isla Barú was complemented. The archipelago is an holocenic reef complex with terraces, fringing reefs and

[‡] Contribución 647 del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR, y 153 del Programa de Posgrado en Biología – Línea Biología Marina, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia.

¹ Universidad Nacional de Colombia (Departamento de Biología). INVEMAR, Cerro Punta de Betín, AA 10-16, Santa Marta, Colombia. E-mail: mcendales@humboldt.org.co & szea@invemar.org.co

² Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR, Cerro Punta de Betín, AA 10-16, Santa Marta, Colombia. E-mail: jmdiaz@invemar.org.co

bank reefs, formed from the interaction between mud diapirism, relative sea level changes and reef growth. Marine ecological units correspond with the vertical reef zonation described for the continental Caribbean. There is a great extension of dead *Acropora* spp. among which several other kinds of organisms (mainly algae) develop. As a result, there has been a replacement of dominant species and changes in zonation patterns. Health of survivor species is moderate, being chronically affected by regional and local stress conditions.

Key words: Coral reefs, cartography, geomorphology, zonation, coral health, Islas del Rosario, Isla Barú, Colombia, Caribbean.

Introducción

La cartografía temática, que involucra inferencias acerca de la formación de biotopos y su dinámica, tiene múltiples aplicaciones como primer paso hacia la comprensión de estructuras y procesos ecológicos. Es fundamental para los estudios de línea de base dirigidos a planes de conservación y manejo integrado de áreas marinas y terrestres, encaminados a proyectos de desarrollo. Por ello, se constituye en herramienta básica, especialmente en países como Colombia, con alta diversidad y alto desconocimiento y desaprovechamiento de sus recursos.

En el Caribe colombiano se presentan prácticamente todos los tipos de paisajes marinos tropicales; sin embargo, se conoce relativamente poco acerca de su localización, distribución, estructura, estado ambiental y dinámica temporal. Esto se debe a que los estudios realizados generalmente han sido puntuales y muy específicos, y a que el desarrollo de tecnologías apropiadas ha sido reciente y de altos costos, entre otras razones. El archipiélago Islas del Rosario y Barú no es la excepción; este conjunto de islas y bajos coralinos de origen reciente (Vernette 1989b) es considerado como la formación de arrecifes más rica e importante del Caribe continental colombiano (Prah & Erhardt 1985). El archipiélago forma parte del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo, y su cartografía temática de biotopos marinos adquiere relevancia para los planes de manejo y conservación.

Por ello, el presente trabajo pretende complementar la información existente con esquemas de localización, distribución y zonación de los biotopos marinos y con observaciones de la influencia que el medio ejerce sobre las comunidades coralinas, combinando técnicas como las fotografías aéreas, observaciones en campo y los Sistemas de Información Geográfica – SIG.

Área de Estudio

El área de estudio está localizada en la parte central de la plataforma continental del Caribe colombiano, 52 km

al SW de Cartagena (10°7' -10°14' N, 75°37' -75°52' W) (Figuras 1 y 2). Es un conjunto de antiguas y sucesivas formaciones de coral a diferentes profundidades, conformado por 28 islas y cayos emergidos a menos de 3 m de altura, a excepción de Barú que tiene algunas elevaciones mayores.

Este sector de la plataforma está influido por la acción de los vientos Alisios del NE, que modulan el patrón de oleaje y la intensidad de la contracorriente de Panamá, causando una marcada estacionalidad climática. En la época seca, de diciembre a abril, dominan los vientos Alisios y se presenta un fuerte oleaje, mientras que en la época lluviosa, de mayo a noviembre, domina la contracorriente y los aportes terrígenos del Canal del Dique a través de la Bahía Barbacoas, y por ello existe una gran turbidez del agua y el oleaje es menor.

Diferencias en la topografía, la acción del oleaje y la distancia a la Bahía Barbacoas, son factores importantes para los esquemas de distribución coralina. Dentro del relativamente estrecho (+3 a -60 m) pero poco homogéneo intervalo entre la altura insular y la profundidad máxima de los arrecifes actuales, las variaciones en el relieve y el tipo de sustrato son importantes, encontrándose diferentes formas como planos, pendientes, fondos de sedimentos finos, entre otros, de los que depende el establecimiento de ciertas comunidades. La sedimentación y la turbidez del agua influyen estacionalmente, siendo más altas en la época lluviosa y a mayor cercanía a la Bahía Barbacoas (Leble 1985, Ramírez 1986, Corchuelo y Alvarado 1990).

El sistema costero, insular y de bajos de arrecifes, que va desde Isla Arena -Atlántico-, hasta Isla Fuerte -frente a Córdoba- (Figura 1), sobre la plataforma continental Caribe colombiana, hace parte del mismo complejo tectónico San Jacinto – Sinú, cinturones en los que termina la Cordillera Occidental andina con dirección 30° Norte (Vernette 1985, 1989a,b). Éstos son de origen orogénico, producto de la tectónica ocasionada por la convergencia de placas, y se manifiestan principalmente por diapirismo arcilloso y cambios relativos en el nivel del mar. Los arre-

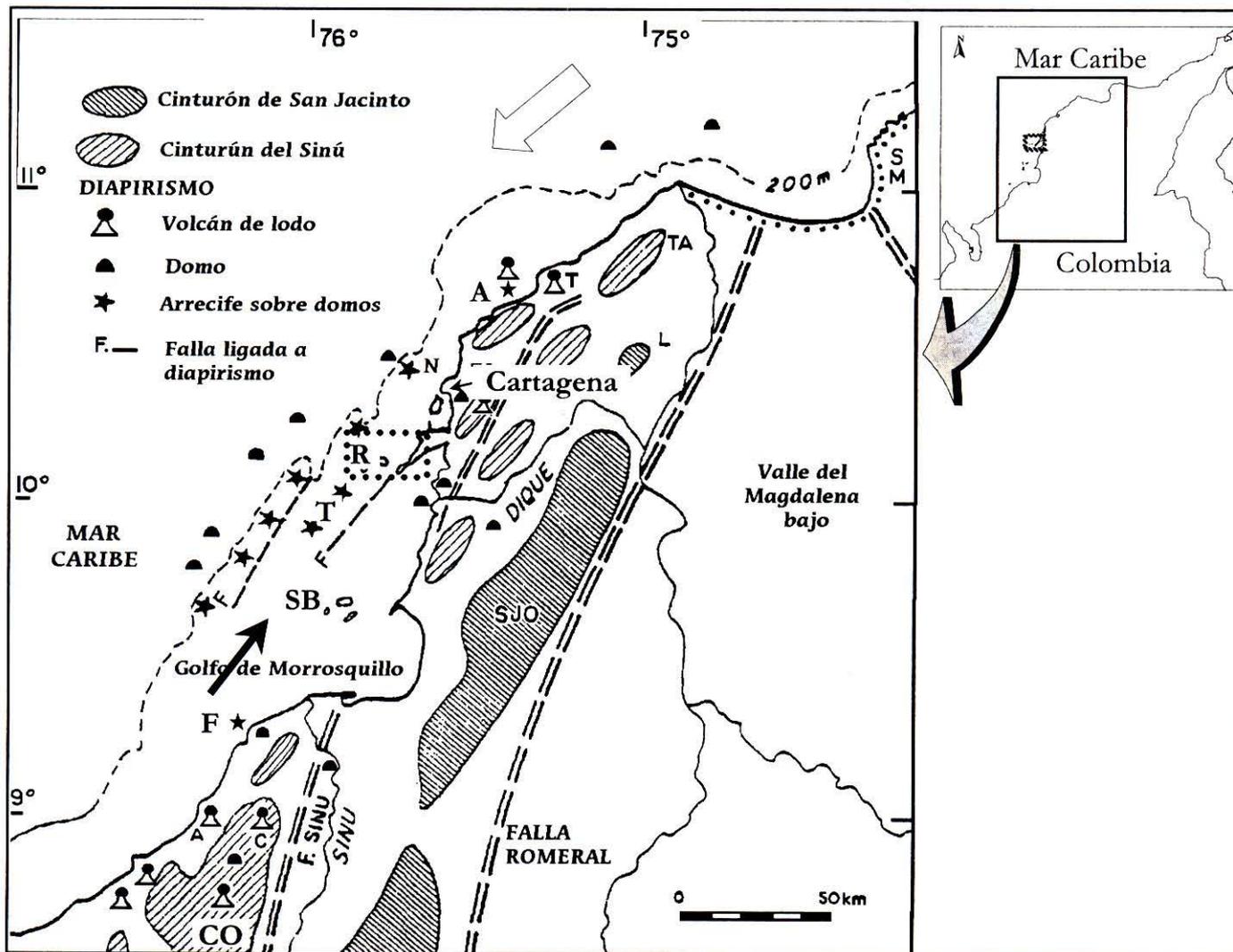


Figura 1. Diapirismo arcilloso y asentamiento de arrecifes de coral en la plataforma continental Caribe colombiano. SM = Sierra Nevada de Santa Marta, SJO = Cinturón de San Jacinto, CO = Cordillera Occidental. Altos-fondos: A = Isla Arena (Atl.), R = Rosario, T = Tortugas, SB = San Bernardo, F = Isla Fuerte. \square Vientos Alisios del NE. \blacktriangleright Contracorriente del Caribe. (Adaptado de Vernette 1985). Área de estudio enmarcada en el recuadro punteado; detalle de ella en la Figura 2.

cifes se comenzaron a construir sobre las estructuras elevadas en la zona fótica, y se han modelado a través de los varios cambios del nivel del mar durante el pleistoceno (Vernette 1989b, Sánchez 1995).

Métodos

Se identificaron los principales tipos de fondos marinos del archipiélago Islas del Rosario e Isla Barú mediante cartas de navegación (Defense Mapping Agency DMA de U.S.A, 1992, escala 1:75.000), fotografías aéreas perpendiculares pancromáticas (Instituto Geográfico “Agustín

Codazzi”, escala 1:11000) y fotografías oblicuas a color (tomadas durante un sobrevuelo).

Con base en la interpretación de las fotografías aéreas se escogieron los sitios de muestreo, buscando los lugares con mayor cantidad de sustrato duro coralino. En campo se realizaron 107 puntos de control (para verificación cartográfica) y 57 estaciones o parcelas de 400 m² aproximadamente. En estas últimas se estimaron algunas variables ambientales (visibilidad, dirección e intensidad del oleaje y la corriente), profundidad, relieve, abundancia y composición de tipos de sustrato, de especies de corales pétreos y de grupos de otros organismos (expresadas en

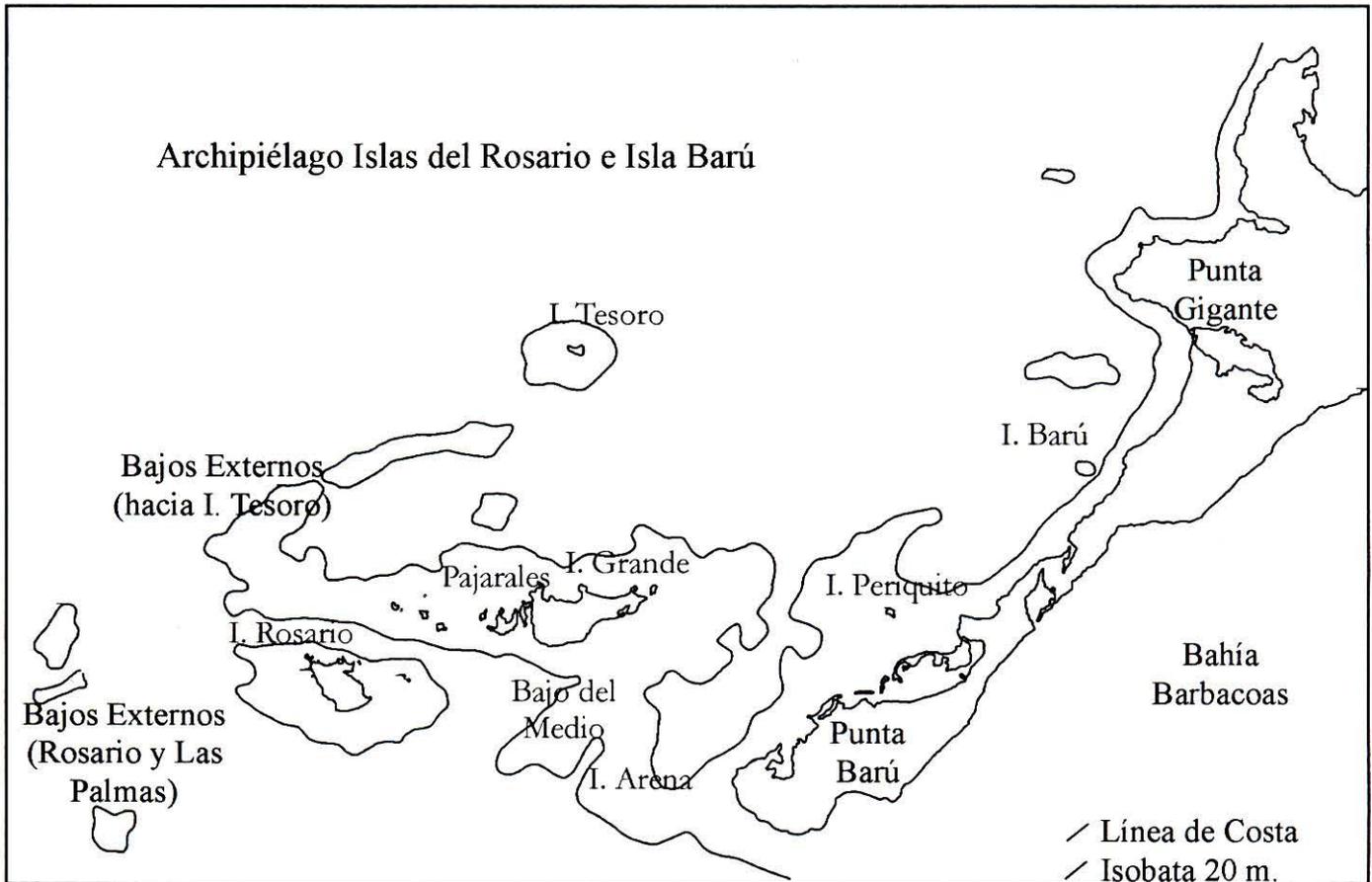


Figura 2.. Área de estudio

coberturas relativas). En 43 de las estaciones se valoró la presencia de agentes y señales de deterioro coralino. Con la implementación de bases de datos y la integración de información previa a este estudio, se restituyó la base cartográfica del archipiélago, obteniéndose el mapa de batimetría, y los mapas de Unidades Geomorfológicas y Ecológicas, mediante a la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Dichas unidades fueron definidas y descritas teniendo en cuenta características bióticas y abióticas.

Dentro de la descripción realizada del área de estudio, se incorporaron trabajos previos al presente, entre los que se destacan **Werding & Sánchez (1979)**, **Coral & Caicedo (1983)**, **Sánchez (1995)**, **Schönwald (1998)** y **Cendales (1999)**.

Resultados

Unidades geomorfológicas

El archipiélago de Islas del Rosario e Isla Barú es un complejo de arrecifes conformado por un conjunto de is-

las y bancos coralinos (llamados localmente "bajos"), ubicados sobre la plataforma continental, con topografía relativamente irregular (Figura 2). Con base en el relieve, se observó que las formaciones coralinas en el archipiélago están alojadas sobre terrazas calcáreas de abrasión, que conforman las plataformas que rodean las islas y que caen a fondos areno-lodosos. Además, hay bancos de coral aislados de las plataformas insulares. Sobre las terrazas se desarrollan varios tipos de formaciones coralinas que, según sea su cercanía a la superficie, presentan características diferentes, por lo que se tratan como unidades aparte. De esta manera, se distinguieron 5 unidades geomorfológicas básicas, que son: (1) zonas emergidas (islas), (2) terrazas, (3) arrecifes franjeantes, (4) bancos y (5) fondos blandos, como se muestra en la Figura 3.

Las terrazas calcáreas tienen poca inclinación, iniciándose en la costa y descendiendo gradualmente hasta el borde externo, a los 9-12 m. Allí comienza el talud insular, que cae con mayor inclinación hasta los 25-40 m, llegando a los fondos blandos de la plataforma continental.

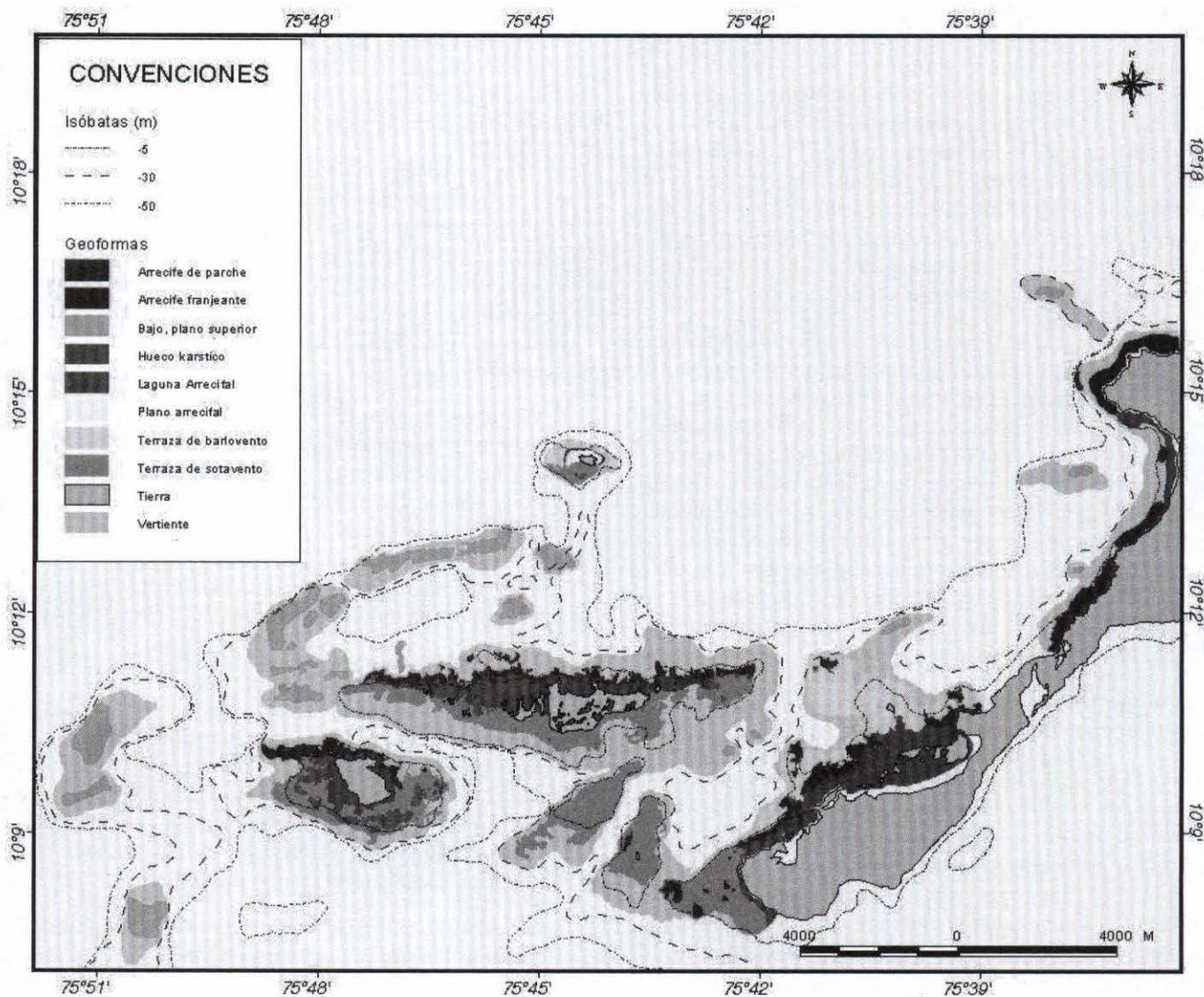


Figura 3. Mapa de las unidades geomorfológicas definidas para Islas del Rosario e Isla Barú.

En algunos lugares del talud insular es evidente una segunda terraza, cuyo borde está a los 21-25 m. Gran parte de las terrazas están cubiertas por formaciones de coral o están surcadas por canales de sedimentos que modifican su relieve y disimulan el borde. A sotavento, las terrazas son más amplias (N-S hasta 1,5 km) formando planos levemente inclinados y poco heterogéneos. En las islas Rosario, Tesoro y Pajarales, a sotavento existen varias depresiones o huecos kársticos, cuyas paredes caen rápidamente a 20 m o más. Las terrazas de barlovento alcanzan la superficie con los arrecifes franjeantes, mientras las de sotavento lo hacen con los parches de coral.

Los arrecifes franjeantes crecen como elevaciones sobre las terrazas de barlovento, a semejanza de pequeñas barreras. Están separados de la línea de costa insular por canales estrechos y poco profundos, generalmente de arena y cascajo de coral. Las formaciones más importantes de este tipo se presentan en las islas Grande y Tesoro; exponentes de menor tamaño se encuentran en Isla Rosario y en el costado oceánico de Isla Barú, pero en esta última están muy surcados y erosionados. Exhiben varias zonas, como parte trasera, rompiente y vertiente. La zona de rompiente se presenta en el punto de máxima exposición al oleaje de los arrecifes franjeantes, a manera de una

franja superficial (<1 m); en lugares más protegidos donde no hay esta zona, como en el centro de Barú, el terreno se comporta casi como un "arrecife trasero" y con abundante sustrato blando. Detrás de la rompiente, en general, se ubica un plano muy somero que llega hasta la costa, o que cae a manera de arrecife trasero en la "laguna de arrecifes" o "canal de botes". La rompiente desciende por su lado externo en una vertiente que va aumentando de pendiente hasta que alcanza la terraza de barlovento. Allí donde la terraza está truncada cerca de la costa, la vertiente puede caer directamente al talud insular.

Los bancos (bajos) de arrecifes externos son elevaciones de la plataforma, truncados por un plano en su parte superior, formando grandes parches en la periferia del archipiélago, que surgen en los 30 m y alcanzan los 8 m de profundidad. Siguiendo la batimetría, los bajos Rosario y Las Palmas hacen parte de un solo sistema de altorrelieves de la plataforma como prolongación del Bajo Tortugas, que continúa con dirección hacia Isla Tesoro. Hay otros bajos entre esta isla y Pajarales, un poco más someros y parecen ser una continuación de la plataforma de Isla Grande. En el lado oceánico de los bajos exteriores se encuentran sistemas paralelos de espolones de coral y surcos de arena.

Composición y abundancia general de especies de coral y grupos de otros organismos

Las especies de corales hermatípicos más frecuentes son también las más abundantes. Éstas en general tienen en común un amplio intervalo batimétrico, gran tolerancia ecológica, predominan en zonas protegidas y conforman los hábitats de mayor representación en el área. Los valores presentados a continuación corresponden a los promedios de la cobertura relativa de la especie en las estaciones de muestreo donde ésta se encontrara. Las especies *Montastraea annularis* s.l.¹ (42,1 %) y *Colpophyllia natans* (10,6 %) son abundantes desde los 2 m y se encuentran en general rodeando depresiones, cañones y canales; hacia sotavento, las colonias son medianas y hay una alta proporción de sustrato arenoso, y en zonas más expuestas las colonias son grandes y acompañadas por otras especies. *Porites astreoides* (13,6 %) es común encontrarlo tanto sobre escombros de corales ramificados (especialmente *P. porites* y *Acropora cervicornis*) a manera de un colonizador secundario, como en lugares en buen estado, adoptando las formas de crecimiento que le son propias a cada tipo de ambiente (masivas de color verde brillante en ambientes protegidos, montículos aplanados también verdes en

ambientes muy expuestos; formas de plato de color café oscuro en vertientes profundas). *Agaricia tenuifolia* (25,3 %) y *Porites porites* (20,0 %) dominan zonas de media a baja energía, tendiendo a formar parches de grandes extensiones desde la superficie hasta 18 m aproximadamente.

Casi la totalidad de las poblaciones de *Acropora palmata* y *A. cervicornis* están muertas, en posición de vida y/o fragmentados como escombros, y se encuentran en gran parte de los lugares visitados. Sin embargo, son importantes por constituir el andamio arrecifes en grandes extensiones, entre el cual están creciendo colonias de corales masivos principalmente, que representan ahora la mayoría del coral vivo.

Las algas frondosas son las que mayor cobertura tienen sobre el andamiaje de arrecifes (68,6 % relativo al total de organismos sobre el coral muerto). Este tipo de algas es también el de más amplia distribución, seguido por las algas crustáceas y por las esponjas. Dentro de las algas frondosas, *Halimeda* (39,3 %) y *Dictyota* (38,1 % relativo al total de algas frondosas) son los géneros de mayor cobertura en el archipiélago.

Unidades ecológicas

Al clasificar las estaciones de acuerdo con la profundidad, tipo de sustrato (duro vs. blando, coral constructor), cantidad de coral vivo y muerto, especies dominantes (incluyendo coral constructor principal así estuviese muerto), grado de exposición al oleaje, relieve y geomorfología, se definieron 7 "unidades ecológicas" (Tabla 1 y Figura 4), basadas en la zonificación hecha para el Caribe por Geister (1977).

Éstas, en orden descendente de nivel de energía del oleaje, son: Unidad *Millepora* – *Palythoa*, Unidad Restos de *Acropora palmata*, Unidad *Montastraea* spp. con restos de *Acropora cervicornis*, Unidad *Porites porites* (con dos subunidades: "*P. porites* - *Agaricia tenuifolia*" y "*P. porites* - *Dictyota* spp."), Unidad *Agaricia tenuifolia*, Unidad *Montastraea* spp. (con colonias más grandes y mayor cantidad de sustrato duro a barlovento), Unidad *Agaricia* spp. con *Montastraea franksi* (sin señales de deterioro en general), Unidad Mixta y Unidad Fondos Blandos Vegetados (Praderas de *Thalassia* con presencia mínima de corales). Para detalles ver Tabla 1 y Cendales (1999).

Zonación vertical general

En las zonas coralinas del archipiélago, la transición de las unidades ecológicas en profundidad y relieve tiene un comportamiento un poco distinto conforme se trate de barlovento o sotavento (Figura 5). Las principales diferencias son la ausencia de las unidades "*Millepora* –

1 s.l. = *sensu lato* (*Montastraea annularis*, *M. faveolata* y *M. franksi*).

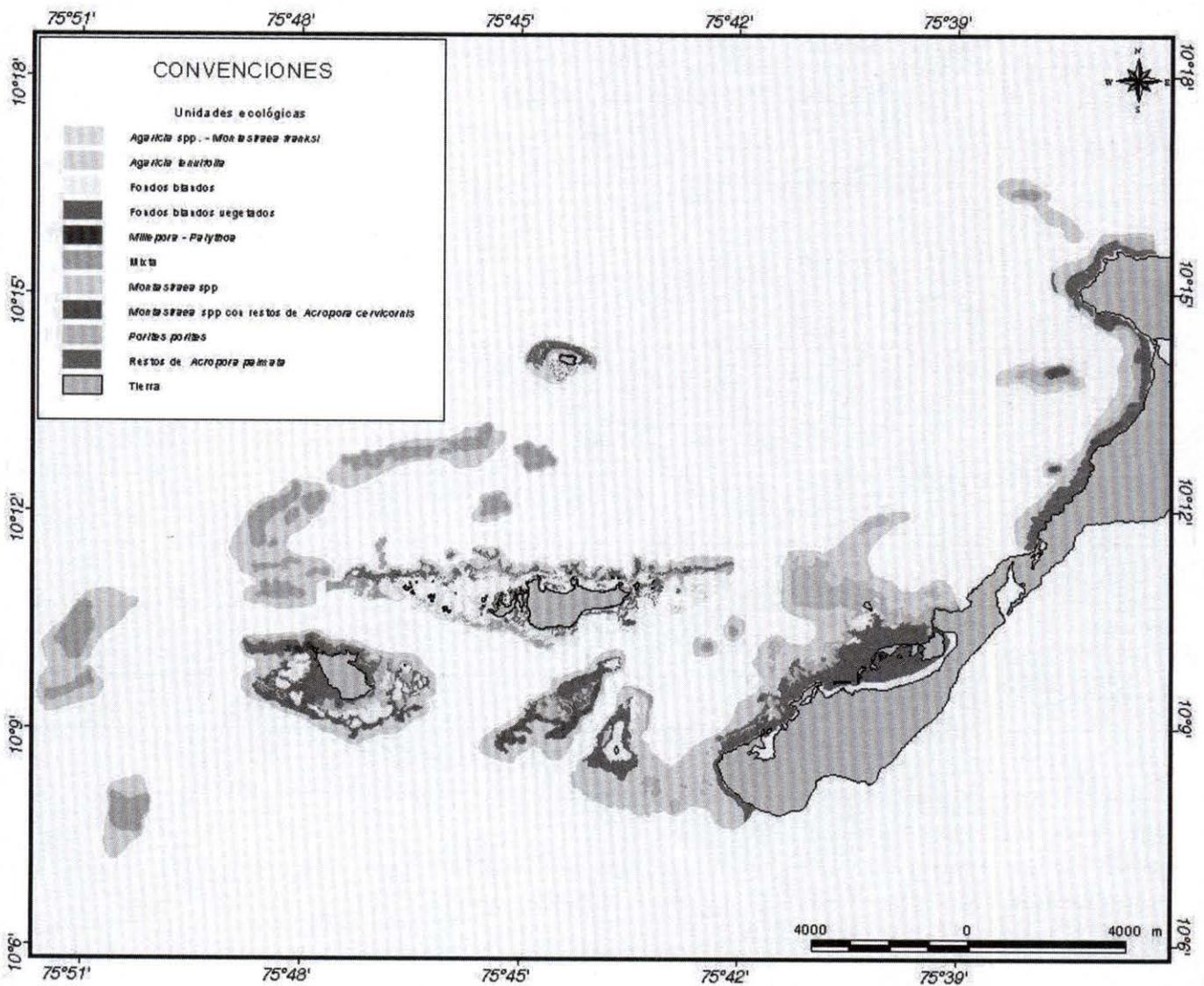


Figura 4. Mapa de las unidades ecológicas definidas para las Islas del Rosario y Barú.

Palythoa” y “Restos de *Acropora palmata*” a sotavento. También, “*Agaricia tenuifolia*” no es una unidad diferenciada en las zonas protegidas sino que se ve como una franja de transición al lado de “*Porites porites*”. Además, la extensión batimétrica de cada unidad es mayor a sotavento. En ambos casos, ocasionalmente faltan una o más unidades del inicio, según sea el nivel de energía del oleaje en el que se encuentre el lugar observado. Ninguna transición, ni horizontal ni vertical, es drástica, así que los valores de intervalos de profundidad no deben asumirse estrictamente. Esto depende del relieve y del grado de exposición al oleaje, principalmente (ver Figura 5).

Discusión y conclusiones

Origen del archipiélago

A partir de las observaciones realizadas durante este trabajo, y con base en la información obtenida por **Vernette** (1982, 1985), **Sánchez** (1995) y **Parada-Ruffinatti** (1996), y de acuerdo con los modelos glacioeustáticos de **Clark et al.** (1978), el siguiente es un resumen de la historia geológica del archipiélago. Durante el Pleistoceno, el diapirismo de lodo y la tectónica de placas formaron elevaciones en la plataforma hasta la zona fótica, en donde se asentaron las primeras construcciones coralinas. Las aguas

Tabla 1. Características principales de las Unidades Ecológicas definidas en las formaciones coralinas de Islas del Rosario e Isla Barú †.

Unidad Ecológica	Profund. Mín-Máx (m)	Sustrato Duro Prom. (%)	Coral Vivo Mín-Máx Prom. (%)	Especies dominantes de Coral	Otras Categorías de Organismos Dominantes	Cobertura Otras Categorías (%)	# Estaciones
<i>Millepora - Palythoa</i> ‡*	0 - 0.5			<i>Millepora complanata</i> , <i>Palythoa caribaeorum</i> .			
Restos de <i>Acropora palmata</i> ‡	0.5 - 7	100	2 - 40 17,4	<i>Montastraea faveolata</i>	Algas costrosas, <i>Dictyota</i> spp. <i>Cliona</i> sp. 2**	13,0	7
<i>Montastraea</i> spp. con restos de <i>Acropora cervicornis</i>	3 - 11	92	2 - 30 16,6	<i>M. faveolata</i> , <i>M. annularis</i>	<i>Dictyota</i> spp., Céspedes algales	11,3	14
<i>Porites porites</i>	0.5 - 10	96	5 - 50 25,0	<i>Porites astreoides</i> , <i>P. porites</i> , <i>Agaricia tenuifolia</i>	<i>Dictyota</i> spp., <i>Halimeda</i> spp.	11,4	14
<i>Agaricia tenuifolia</i>	2 - 18	99	25 - 70 46,0	<i>A. tenuifolia</i>	<i>Halimeda</i> spp.	16,0	9
<i>Montastraea</i> spp.	3 - 25	79	30 - 80 42,0	<i>M. annularis</i> s.l., <i>Colpophyllia natans</i>	Algas costrosas, <i>Halimeda</i> spp.	11,7	7
Mixta	6 - 36	85	20 - 60 33,0	Formas masivas	Algas costrosas, octocorales	7,4	6
<i>Agaricia</i> spp. con <i>Montastraea franksi</i> *	18 - 35			Formas de plato.	Esponjas, Antipatarios		
Fondos Blandos Vegetados *	< 5				<i>Thalassia testudinum</i>		

† Las estimaciones no incluyen representantes de estas unidades en Isla Grande, Pajarales e Isla Tesoro.

‡ Se encuentran únicamente a barlovento.

* Unidades donde se realizaron observaciones pero no se instalaron estaciones (ni se hicieron estimaciones de coberturas)

** Especie revestiente y excavadora del complejo *Cliona aprica* - *C. langae* - *C. caribbaea*.

fueron cálidas y el nivel de mar estuvo varias veces por encima y por debajo del actual, erosionando las estructuras durante las regresiones y modelando varios niveles de terrazas durante las transgresiones. Los bordes de las terrazas se observan, una a 9 - 12 m y la otra a 21 - 25 m; esta última sería homologable con la encontrada a unos 20 m en San Andrés y Providencia (Geister 1975, Díaz *et al.* 1996b) y otras partes del Caribe (como Jamaica, Goreau & Goreau 1973). Habría que examinar con detenimiento las diferentes continuidades y los registros fósiles. La última regresión marina causada por la última glaciación (Wisconsin, 80 a 20 mil años AP), que bajó el nivel del mar a 120 m del actual, expuso las formaciones de arrecifes a la erosión subaérea y al colapso de las estructuras calcáreas por el flujo de aguas subterráneas dulces (formación de depresiones o huecos kársticos), lo cual erosionó y surcó las terrazas de abrasión produciendo un relieve muy irregular.

Con la posterior transgresión marina, que comenzó a final del Pleistoceno, aproximadamente 16 mil años AP, de nuevo crecieron las comunidades de corales sobre los altorrelieves del armazón pleistocénico. El nivel del mar y el crecimiento de arrecifes que lo siguió alcanzaron su nivel máximo en el Holoceno, hace unos 2700 años, a unos +3 m del nivel actual. Un posterior descenso relativo del nivel del mar hizo que las islas emergieran y debió entonces ocurrir una fuerte erosión de parte de los arrecifes someros. Existe controversia sobre si la causa por la cual las islas hoy están emergidas fue por un descenso absoluto en el nivel del mar (Vernette 1982, 1985) o por una elevación tectónica local (Geister 1992). Empero, modelos glacioeustáticos muestran que los márgenes continentales, a diferencia de las islas oceánicas, experimentan un levantamiento cuando se derrite el agua glacial. Debido a que la corteza oceánica es deprimida por la car-

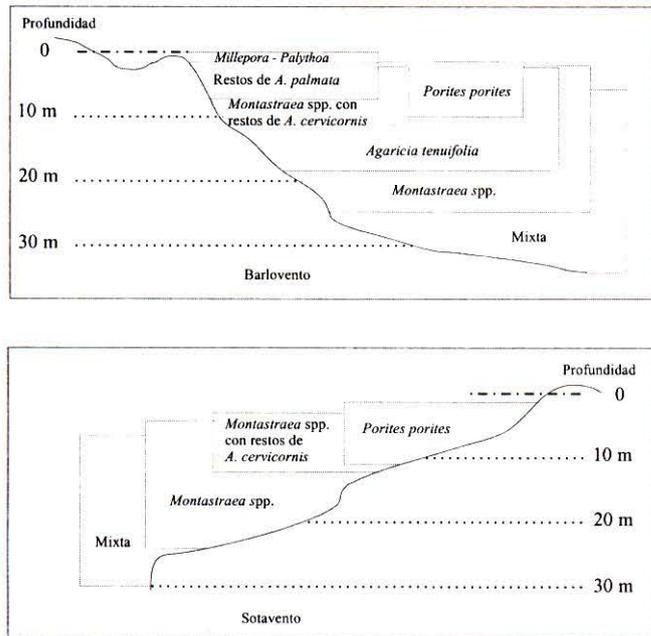


Figura 5. Esquemas de distribución vertical de las Unidades Ecológicas en las áreas coralinas de las Islas del Rosario y Barú.

ga adicional de agua derretida, el material dentro de la tierra fluye desde debajo del océano a debajo del continente, causando que los continentes suban y que ocurra un ladeamiento hacia arriba en el margen (Clark *et al.* 1978). Esto habría causado el descenso relativo del nivel del mar existente en el área de Cartagena, y que está ausente en el archipiélago de San Andrés y Providencia.

Morfología general del área

En la plataforma continental colombiana, el intervalo batimétrico no es muy amplio (0 - 80 m aprox.), pero el relieve que se ha formado es muy heterogéneo y causa muchos y variados ambientes. Los principales factores ambientales que han contribuido al desarrollo de arrecifes son: (1) el grado de exposición al oleaje, con marcadas diferencias entre barlovento y sotavento y (2) la turbidez, cambiante entre la época seca y la lluviosa y entre mayor (NW) y menor (SE) distancia a los afluentes continentales. Entre otros factores importantes están además la topografía y la distancia a la costa continental.

Parada-Ruffinati (1996) describió el área de los archipiélagos como de ambiente lacustre. Esto significa que las estructuras calcáreas están sometidas a una agitación del agua menor a la del Caribe oceánico. Adicionalmente, el archipiélago es un obstáculo que hace que hacia el sur disminuyan la intensidad y acción de los Alisios del NE (y del

oleaje). Por ello, en el Bajo Tortugas y en el archipiélago San Bernardo, al sur, el nivel de energía es menor y la influencia de los aportes del río Sinú y de los vientos del SW son mayores, resultando en que no haya tanta variedad vertical en las comunidades de coral, incluso a pesar de ser más ancha la plataforma en dichas formaciones. Los efectos nombrados son también claros al comparar dentro del área de estudio las formaciones de arrecifes de Isla Tesoro e Isla Grande con las demás, siendo las primeras las que gozan de las más variadas condiciones ambientales y por ende son estructuralmente más desarrollados (ver **Sánchez** 1995, **Schönwald** 1998).

De Cartagena hacia el norte, la plataforma continental es más angosta (Figura 1) y hay gran influencia del río Magdalena y de aguas de afloramiento costero desde Santa Marta hasta La Guajira, dando lugar a pocas formaciones coralinas.

Estas condiciones muy generales son las que determinan actualmente la morfología del litoral continental del Caribe colombiano, dentro del cual se ha afirmado que las comunidades coralinas de las Islas del Rosario y Barú son el complejo arrecifes reciente más desarrollado (**Prahl & Erhardt** 1985, entre otros). Dicho apelativo se relaciona con la mayor complejidad estructural de las formaciones, debido a la mencionada morfología de la plataforma (islas y altos-fondos) que brindan suficiente sustrato firme, y al cambio en la orientación general de la costa (**Vernette**, 1985), que dan al archipiélago propiedades como suficiente turbulencia, buena luminosidad y transparencia del agua la mayor parte del año.

Geomorfología de los arrecifes del archipiélago

Con base en la clasificación de las formaciones coralinas recientes de **Geister** (1983) según sus propiedades ecológicas, estructurales y topográficas, se puede afirmar que el área de las Islas del Rosario y Barú no es un arrecife genuino sino un complejo de arrecifes que contiene varios de los tipos geomorfológicos básicos; estos son arrecifes franjeantes, bancos y parches (Figura 3). Sin embargo, ninguno de ellos está desarrollado al máximo, debido en parte a su escasa edad geológica y cercanía al continente (influencia de aguas turbias y sedimentos, poca profundidad).

De acuerdo con lo anterior y con **Schuhmacher** (1978) y **Díaz et al.** (1996b), se podrían clasificar estas formaciones como arrecifes franjeantes y de parche, todos creciendo sobre terrazas y relieves formados previamente durante cambios relativos y absolutos del nivel del mar. Aquí se hizo una diferenciación entre parche ("patch reef") y ban-

co, siendo el primero de menor tamaño y ubicándose sobre áreas someras, mientras que el segundo es más grande y surge desde profundidades a las que los corales no crecen.

Es por eso que términos utilizados en el Caribe para describir la geomorfología de los arrecifes no han sido correctamente aplicados y no son precisos para las Islas del Rosario. Un ejemplo es el caso de las barreras de arrecifes, término que se ha venido aplicando a los arrecifes franjeantes al norte de Isla Rosario, Pajarales e Isla Grande. Las barreras de arrecifes propiamente dichas se encuentran en Belice y en algunos sectores del archipiélago de San Andrés (Rützler & Macintyre 1982, Díaz *et al.* 1995, Díaz *et al.* 1996b), mientras que en los demás arrecifes del Caribe, dominan los arrecifes costeros o franjeantes con sus posteriores terrazas sedimentarias, y hacia las islas a veces con un canal trasero ("canal de botes") a manera de una estrecha y somera laguna arrecifes (Ladd 1977, Schuhmacher 1978). Ejemplares de estos son los que se encuentran en las islas Tesoro, Grande y de menor tamaño en las islas Rosario y Barú. También pueden encontrarse unas pequeñas formaciones de este tipo cerca de Santa Marta (Parque Tayrona, Solano 1987, Zea 1993, entre otros), Isla Arena (Atlántico, Pinzón *et al.* 1998), archipiélago de San Bernardo (López-Victoria & Díaz, 2000) e Isla Fuerte (Díaz *et al.* 1996a).

El carácter discontinuo de los arrecifes franjeantes de Isla Rosario y puntas Barú y Gigante es común en zonas bajo condiciones no muy favorables para el desarrollo de estas estructuras, como la sedimentación y el aporte de aguas dulces (Ladd, 1977), lo cual también podría explicar situaciones similares en el archipiélago de San Bernardo (López-Victoria & Díaz 2000) y las islas Fuerte (Díaz *et al.*, 1996a) y Arena (Pinzón *et al.* 1998) en Colombia.

En el archipiélago del Rosario no se encuentran zonas desarrolladas de surcos y espolones frontales, como se describen para Jamaica o Belice. Apenas existen algunas zonas de surcos y espolones con poco desarrollo al norte de Isla Tesoro, NW de Isla Rosario y al N de Punta Gigante. Éstos se encuentran erosionados a causa de la pérdida reciente de las colonias de *Acropora palmata*, haciendo que la terraza del arrecife frontal se haya transformado en una terraza de abrasión (Sánchez, 1995), como pudo suceder en los demás planos frontales de las terrazas del archipiélago. Estas características hacen que el mayor impacto de las olas recibido por la parte más somera (escombros de acropóridos), no dirija y disipe el flujo de energía por surcos hacia el fondo, sino más bien cause la dispersión de energía y sedimentos en varios sentidos y se pierda así estabilidad mecánica.

Las vertientes o taludes insulares terminan entre 21 m (norte de Isla Grande, Pajarales e Isla Rosario, Barú) y 40 m (Isla Tesoro, sur de Isla Grande) de profundidad en un plano que disminuye de pendiente y que, generalmente, es a donde llega buena parte de los fragmentos y sedimentos provenientes de las partes más someras (ver Goreau & Goreau, 1973). Si bien estos planos no son extensos en el archipiélago, si dan paso a un cambio de hábitat, donde predomina el sustrato blando. En la transición entre la vertiente y el plano, la cementación es mínima y grande la interacción corales - esponjas (Goreau & Goreau, 1973).

Zonación coralina y cambios recientes

El modelo de zonación vertical propuesto (Figura 5), al igual que las unidades geomorfológicas (Figura 3), se realizaron con base en facies coralinas, independientemente de si estaban vivas o recientemente muertas, y siguiendo los modelos de Geister (1977) y Graus & Macintyre (1989). Las unidades concuerdan con las descripciones para otras partes del Caribe, hechas por otros autores como Goreau (1959), Rützler & Macintyre (1982), Duyl (1985), Díaz *et al.* (1995), Díaz *et al.* (1996b), Greb *et al.* (1996) y Díaz *et al.* (2000), entre otros. De acuerdo con dichos modelos, las formaciones coralinas predominantes del archipiélago del Rosario corresponderían a arrecifes de *Acropora cervicornis* o de mediana exposición al oleaje. Sin embargo, si se pretendiera definir las zonas coralinas de las Islas del Rosario y Barú por las áreas que ocupan sus unidades ecológicas, con sus especies constructoras recientemente muertas o no, se podría decir que el archipiélago es un gran conjunto de "*Montastraea* spp." y en general, de corales masivos (Figura 4), aunque el nivel de energía sea el que le corresponde a la zona de *A. cervicornis*, es decir, superior.

Cabe notar que en el archipiélago, al igual que todo el Caribe continental colombiano, no están los niveles más altos de energía del oleaje propuestos por Geister (1977). Además, en dicho esquema no se encuentra ninguna zona o asociación "*Agaricia tenuifolia*", la cual sí es común en arrecifes cercanos al continente. Dentro de los mencionados esquemas de zonación coralina, el factor más importante es el nivel energético del oleaje, que disminuye su influencia a mayor profundidad, donde cobra mayor importancia la topografía del fondo, de manera similar a como lo describe Duyl (1985).

Desde el estudio de Werding & Sánchez (1979), se registró que en 1977 todo el plano de sotavento de Isla Rosario se componía de setos muertos de *Acropora cervicornis*, situación que empeoró a principios de los años 80 (Coral & Caicedo 1983, Ramírez 1986) y que no ha cambiado sustancialmente hasta ahora. Si se tiene en cuenta que en-

tre sus estrategias de vida están la rápida colonización y regeneración de sus ramas, a pesar de su fragilidad (Duyf, 1985), su decadencia y escasa recuperación señalan que el estrés ambiental continúa y que el sistema ha sido poco elástico. Con un intervalo energético distinto y batimetría similar, *A. palmata* ha estado sometida al mismo estrés, por lo que de los sitios donde deberían estar las "barreras" de este coral, hoy sólo se encuentran escombros y una gran cantidad de organismos oportunistas.

Si bien *Montastraea annularis* s.l. es frecuente en casi todos los ambientes del arrecife (Goreau 1959, entre otros), este complejo de especies se ha vuelto dominante en los últimos años en todo el Caribe, especialmente al aparecer ahora de forma más conspicua ante la ausencia de los acropóridos, entre los que crecía abundantemente en valles y depresiones. Su éxito se relaciona con una gran capacidad de recuperación y longevidad, dadas por su mejor habilidad de autolimpieza, de sobrevivir en aguas calientes, turbias y eutróficas, y de resistir a las fracturas causadas por movimientos relativamente fuertes del agua (Duyf, 1985). En situaciones normales en el pasado, *Montastraea annularis* (s.l.) eran los corales constructores más activos en aguas medias, y cuando el andamio resultante de su crecimiento alcanzaba zonas someras, era recubierto por *Acropora palmata* pasando este último a ser el hermatipo más importante, en lo que se consideraría un reemplazo de funciones producido por competencia (Goreau 1959).

Sobre los escombros de acropóridos, a manera de especies oportunistas, han colonizado ampliamente en los últimos años especies pioneras de alta tasa de calcificación (*Porites astreoides*, *Millepora* spp., *Agaricia agaricites*, *A. tenuifolia*). También, otras especies masivas (*Diploria* spp., *Meandrina meandrites*, *Isophyllastrea rigida*, *Colpophyllia natans*) están colonizando espacios y depresiones entre el andamio muerto (Coral & Caicedo, 1983).

Los parches de *Porites porites* también son abundantes en todo el Caribe, y en el área de estudio y en muchos lugares continentales de Colombia, son importantes en aguas someras y poco agitadas (ver Díaz *et al.*, 1995, Schönwald 1998, Cendales 1999, López-Victoria & Díaz 2000, Díaz *et al.* 2000). El caso de *Agaricia tenuifolia* es interesante, ya que es más abundante en las vertientes de los arrecifes continentales del Caribe sur (ver Rützler & Macintyre 1982, Solano 1987, Greb *et al.* 1996, Cendales 1999, López-Victoria & Díaz 2000) donde ha sido mayor la mortalidad de *Acropora cervicornis*, y está re-ocupando las áreas donde esta última floreció, quedando en su mismo intervalo de profundidad y energía. Con anterioridad, los

acropóridos tenían relegada a *A. tenuifolia* a una mayor profundidad. Éste y los de arriba serían ejemplos de cambio de dominancia por causas extrínsecas y no por competencia entre las especies (ver Aronson *et al.*, 1998).

Como consecuencia de todo lo anterior, actualmente en casi todo el Caribe y también en el área de estudio, por la falta de los acropóridos, los principales constructores de arrecifes son *Montastraea* spp. (Rützler & Macintyre 1982, Duyf 1985), *Porites astreoides*, e incluso *Agaricia tenuifolia*.

Al descender en profundidad las condiciones cambian, y el efecto de los factores de estrés ha sido menor y no ha habido cambios ulteriores significativos. Allí donde ninguno de los factores abióticos es preponderante, especialmente a profundidades medias (alrededor de 12 m), como es el caso frecuente en el archipiélago, no ha ocurrido la dominancia de una u otra forma o especie, presentándose entonces las zonas mixtas (ver también Coral & Caicedo 1983, Duyf 1985). Más abajo (hacia los 18 m), en las vertientes, por la escasez de luz y el fuerte ángulo de inclinación, se debe aprovechar el espacio, por lo que la eficiente forma de crecimiento laminar fijada al sustrato en un solo extremo, es la dominante (Goreau 1959, Duyf 1985). Así, los corales constructores son las especies laminares de *Agaricia*, y especies que son más arriba masivas y que toman aquí forma de plato, como *Montastraea franksi* y *Porites astreoides*.

En síntesis, en el archipiélago, con el aumento de causas de estrés, hay un conjunto de factores que han modificado el patrón de zonación. Se han liberado ciertos nichos antes no disponibles a los que han respondido las poblaciones sobrevivientes cambiando el esquema de dominancia. Según Duyf (1985), una alta diversidad de características y estrategias entre las especies coralinas, es el resultado de un proceso de especialización, pero aparentemente el paisaje se estaría volviendo cada vez más homogéneo porque son las especies generalistas las que lo están dominando (Ramírez 1986). Es posible que ésta sea sólo una (o más) etapa(s) de transición en las comunidades coralinas, en la que nuevas estrategias se estén dando y aún no sean detectadas, como respuesta al dinamismo, pasado y presente, de las condiciones ambientales y los consecuentes cambios en las interacciones interespecíficas. Es probable que en un futuro el archipiélago (e incluso el Caribe) presente un paisaje dominado por colonias de corales masivos con diferentes estrategias de crecimiento y reproducción, en convivencia con algas frondosas, capaces de resistir las perturbaciones como la turbidez y alta incidencia lumínica.

Posibles causas de deterioro coralino

Los primeros registros de signos de deterioro en el archipiélago son de 1977 (Werding & Sánchez 1979), y estudios posteriores muestran cifras del aumento del daño en las poblaciones marinas, con una notable mortalidad coralina (ver recopilación en Cendales 1999). En la Tabla 2 se hace un resumen de las causas posibles del deterioro de las comunidades marinas del archipiélago.

En gran parte del Caribe se ha atribuido la mortalidad masiva de los corales ramificados, especialmente los acropóridos, al menos en parte, a una epidemia de la enfermedad Banda Blanca que ocurrió a principios de los años 80 (Peters 1997). Para el Archipiélago existieron entonces otras causas en el deceso casi total de dichas poblaciones, que parece comenzó a ocurrir en el final de la década de los setenta.

La ausencia de recuperación por parte de los acropóridos y la mortalidad parcial de tejidos siempre presen-

te en la actualidad en casi todos los corales dominantes (datos no incluidos; ver Cendales 1999), indican que persisten condiciones de estrés de tipo regional y/o local. El conjunto de condiciones de tipo regional puede ser (1) los sucesivos eventos de blanqueamiento coralino por calentamiento del agua durante el fenómeno de "El Niño" (Ramírez 1986, Glynn 1991), (2) la muerte masiva del erizo herbívoro *Diadema antillarum* (Lessios *et al.* 1984, Ramírez 1986), que permitió la proliferación de algas y, (3) las enfermedades epidémicas como Banda Blanca sobre acropóridos (Garzón-Ferreira & Kielman 1993) y como Aspergiliosis sobre el abanico de mar *Gorgonia ventalina* (Garzón-Ferreira & Zea 1992, Smith *et al.* 1996). Entre las condiciones de estrés de tipo local sobresalen la sobrepesca, la sedimentación, el aumento de nutrientes inorgánicos en disolución, la colonización y construcción incontrolada en Islas Grande y en Pajarales, y el tráfico incontrolado y otras actividades náuticas (Werding & Sánchez 1979, Ramírez 1986, Alvarado

Tabla 2. Síntesis y calificación de los factores de estrés y deterioro en el archipiélago Islas del Rosario e Isla Barú (ver Cendales 1999 para detalles).

Causa de deterioro	Intensidad	Permanencia	Efecto*	Lugar del Archipiélago
Sedimentación	Alta	Estacional	Mortalidad alta	Mayor al SE
Mar de Leva	Alta	Estacional	Mortalidad alta	Todo
Daño físico a corales	Alta	Persistente	Mortalidad baja	Mayor en zonas someras (<i>Acropora</i> , <i>Porites</i>)
Contaminación por residuos	Media	Persistente	Mortalidad baja	Mayor alrededor de Punta Barú e Isla Grande.
Construcciones y rellenos	Baja	Esporádica	Mortalidad baja	
Pesca con dinamita	Alta	Esporádica**	Mortalidad alta	Todo
Pesca artesanal	Media	Persistente	Mortalidad baja	Todo
Altas temperaturas del agua	Alta	Episódica	Blanqueamiento	Todo (mayor en zonas someras)
Patógenos (Banda blanca, Banda negra, Aspergiliosis, etc.)	Alta	Episódica	Enfermedades epidémicas Mort. alta	Todo
Mortalidad herbívoros, sobrepesca de depredadores	Alta	Esporádica**	Proliferación algas y otros	Todo
Exceso de nutrientes inorgánicos	Baja	Estacional	Proliferación algas y otros	Todo
Proliferación de algas y otros organismos (peces territoriales, esponjas)	Alta	Estacional	Mortalidad Baja	Todo

* Consecuencia de los agentes y tensores sobre las colonias de corales duros, principalmente.

** Causó grandes perjuicios en años anteriores, pero en este estudio no se observaron señales recientes de ellas.

et al. 1986, **Corchuelo y Alvarado** 1990), aunque con intensidad variable a lo largo del tiempo (Tabla 2).

Se espera que con la puesta en marcha y posterior seguimiento del plan de manejo ambiental para el "Parque Nacional Natural Los Corales del Rosario y de San Bernardo", al menos los agentes locales de deterioro sean mitigados, tal que permita que las comunidades arrecifales puedan continuar y mejorar su estado. Para los agentes regionales es importante un cambio de actitud global y la cooperación multilateral.

Para concluir, el archipiélago Islas del Rosario y Barú son un complejo arrecifes, resultado de sucesivas etapas de construcción por comunidades coralinas y erosión, asociadas a los cambios del nivel del mar. Su relieve irregular, su posición privilegiada con respecto a la costa colombiana, su escasa edad geológica y cercanía al continente, son la base para la definición y nominación de las Unidades Geomorfológicas (Figura 3). El archipiélago es un lugar de transición, de cambio reciente en la fisonomía del paisaje (desde finales de los 70, gracias a la mortalidad de acropóridos), en el cual ahora dominan corales masivos e incrustantes y algas oportunistas. Se destaca el caso de las vertientes con buena luz y circulación de agua, donde hay un reemplazo de nicho: *Agaricia tenuifolia* por *Acropora cervicornis*. La distribución de las poblaciones coralinas está dada por la intensidad del oleaje, disponibilidad de luz y de sustrato duro, distancia a la Bahía de Barbacoas, topografía y capacidad de colonizar nuevos espacios. Con base en todo lo anterior, se definieron las Unidades Ecológicas (Figura 4), que concuerdan con la zonación vertical (Figura 5) del Caribe.

La creciente mortalidad y deterioro de los corales en las últimas dos décadas y la presencia de muerte actual y de otros signos de deterioro, indican que los agentes causantes continúan, pero faltan estudios que permitan identificar bien los orígenes y mecanismos de acción y de control de dichas causas.

Agradecimientos

Los autores expresan su gratitud a los demás integrantes del Grupo de Investigación en Arrecifes Coralinos de Invemar (Santa Marta), especialmente los que participaron en el proyecto "Áreas Arrecifales II", y a Rafael Vieira y los demás miembros del Ceiner - Islas del Rosario, por su valiosa colaboración. De igual manera, al Dr. Jörn Geister (Geologisches Institut, Universidad de Berna, Suiza), al Dr. Georges Vernet (Universidad de Bordeaux I, Francia) y al Prof. Gabriel Guillot (Depto. de Biología, Universidad Nacional de Colombia), por su asesoría y comentarios. Este

estudio hizo parte del Proyecto de Invemar "Evaluación Bioecológica y Ambiental de Áreas Arrecifales del Caribe Colombiano, Fase II", financiado por Colciencias (2105-09-120-97). Este manuscrito forma parte del trabajo de grado de M.H. Cendales, carrera de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia.

Bibliografía

- Alvarado E.M., F. Duque, L. Flórez & R. Ramírez.** 1986. Evaluación cualitativa de los arrecifes coralinos de las Islas del Rosario (Cartagena, Colombia). *Boletín Ecológico* 15: 1-30.
- Aronson, R.B., W.F. Precht & I.G. Macintyre.** 1998. Extrinsic control of species replacement on a Holocene reef in Belize: the role of coral disease. *Coral Reefs* 17: 223-230.
- Cendales, M.H.** 1999. Cartografía, composición y estado actual de los biotopos marinos arrecifales de Isla Rosario, Isla Barú y de los bajos intermedios del archipiélago del Rosario. Trabajo de Grado, Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 113 p.
- Clark, J.A., W.E. Farrell & W.R. Peltier.** 1978. Global changes and postglacial sea level: a numerical calculation. *Quaternary Research* 9: 265-287.
- Coral, D.A. & A. Caicedo.** 1983. Descripción de la formación arrecifes de Isla Grande (Islas del Rosario) con anotaciones ecológicas. Tesis de Grado Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 110 p.
- Corchuelo, M.C. & E.M. Alvarado.** 1990. Factores físico-químicos imperantes en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario. Mem. VII Sem. Nal. Cienc. Tecnol. Mar., Cali: 337-342.
- Díaz, J.M., J. Garzón-Ferreira & S. Zea.** 1995. Los arrecifes coralinos de la isla de San Andrés, Colombia: Estado actual y perspectivas para su conservación. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Alvarez Lleras 7, Bogotá. 147 p.
- Díaz, J.M., J.A. Sánchez, G. Díaz-Pulido.** 1996.(a) Geomorfología y formaciones arrecifales recientes de Isla Fuerte y Bajo Bushnell, plataforma continental del Caribe colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 25: 87-105.
- Díaz, J.M., G. Díaz-Pulido, J. Garzón-Ferreira, J. Geister, J.A. Sánchez & S. Zea.** 1996.(b) Atlas de los arrecifes coralinos del Caribe colombiano. I. Complejos arrecifales oceánicos. INVE-MAR, Serie publicaciones especiales 2, Santa Marta. 83 p.
- Díaz, J.M., L.M. Barrios, M.H. Cendales, J. Garzón-Ferreira, J. Geister, M. López-Victoria, G.H. Ospina, F.J. Parra, J. Pinzón, B. Vargas-Ángel, F.A. Zapata & S. Zea.** 2000. Áreas coralinas de Colombia. INVE-MAR, Serie Publicaciones Especiales 5, Santa Marta. 176 p.
- Duyf, F.C. van,** 1985. Atlas of the living reefs of Curaçao and Bonaire (Netherlands Antilles). Utrecht, Netherlands: Natuurwetenschappelijke Studierkring voor Suriname en de Nederlandse Antillen. 38 pp.
- Garzón-Ferreira, J. & M. Kielman.** 1993. Extensive mortality of corals in the Colombian Caribbean during the last two decades.

- Proc. Colloquium on Global Aspects of Coral Reefs, Health, Hazards and History. University of Miami, Miami: 247-253.
- Garzón-Ferreira, J. & S. Zea.** 1992. A mass mortality of *Gorgonia ventalina* (Cnidaria: Gorgoniidae) in the Santa Marta area, Caribbean coast of Colombia. *Bull. Mar. Sci.*, **50**(3): 522 - 526.
- Geister, J.** 1975. Riffbau und geologische Entwicklungsgeschichte der Insel San Andrés. *Stuttgart Beitrage Naturkunde (Geol. Paleont.)* **15**: 1-203.
- Geister, J.** 1977. The influence of wave exposure on the ecological zonation of Caribbean coral reefs. *Proc. 3rd Int. Coral Reef Symp.*, Miami **1**: 23-29.
- Geister, J.** 1983. Holozäne westindische Korallenriffe: geomorphologie, Ökologie und Fazies. *Facies*, **9**: 173-284.
- Geister, J.** 1992. Modern reef development and cenozoic evolution of an oceanic island / reef complex: Isla de Providencia (Western Caribbean Sea, Colombia). *Facies*, **27**: 1-70
- Glynn, P.W.** 1991. Coral reef bleaching in the 1980s and possible connections with global warming. *Trends. Ecol. Evol.* **6**(6): 175-179.
- Goreau, T.F.** 1959. The ecology of Jamaican coral reefs. I. Species composition and zonation. *Ecology*, **40**(1): 67-90.
- Goreau, T.F. & N.I. Goreau.** 1973. The ecology of Jamaican coral reefs. II. Geomorphology, zonation, and sedimentary phases. *Bull. Mar. Sci.* **23**(2): 399-464.
- Graus R. & I. Macintyre.** 1989. The zonation patterns of Caribbean coral reefs as controlled by wave and light energy input, bathymetric setting and reef morphology: computer simulation experiments. *Coral Reefs* **8**: 9-18.
- Greb, L., B. Saric, H. Seyfried, T. Broszonn, S. Brauch, G. Gugau, C. Wiltshko & R. Leinelder.** 1996. Ökologie und Sedimentologie eines rezenten Rampensystems an der Karibikküste von Panamá. *Profil* **10**: 1-168 p.
- Laad, H.S.** 1977. Types of coral reefs and their distribution. p. 1-19. En: Jones, O. & R. Endean. (Eds.), *Biology and geology of coral reefs* **4**: Geology 2. Academic Press, Nueva York. 337 p.
- Leble, S.** 1985. El archipiélago Islas del Rosario. Estudio morfológico, hidrodinámico y sedimentológico. Informe final. CIOH, Cartagena. 152 p.
- Lessios, H.A., D.R. Robertson & J.D. Cubit.** 1984. Spread of *Diadema* mass mortality through the Caribbean. *Science*. **226**: 335-337.
- López-Victoria, M & J. M. Díaz.** 2000. Morfología y estructura de las formaciones coralinas del archipiélago de San Bernardo, Caribe colombiano. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **24**(91): 219-230.
- Parada-Ruffinatti, C.** 1996. Foraminíferos del Pleistoceno - Holoceno en el Caribe colombiano. Biblioteca José Jerónimo Triana N° 14. Santa fe de Bogotá, 392 p.
- Peters, E.C.** 1997. Diseases of coral reef organisms. En Birkeland, C. (Ed.): *Life and death of coral reefs*. Chapman & Hall, New York, 356 p.
- Pinzón, J.H., A.M. Perdomo & J.M. Díaz.** 1998. Isla Arena, una formación coralina saludable en el área de influencia de la pluma del río Magdalena, plataforma continental del Caribe colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.* **27**(1): 21-37.
- Prahl, H. von & H. Erhardt.** 1985. Colombia: corales y arrecifes coralinos. FEN Colombia. Bogotá, 295p.
- Ramírez G., A.** 1986. Ecología descriptiva de las llanuras madreporarias del Parque Nacional Submarino Los Corales del Rosario (Mar Caribe) Colombia. *Boletín Ecuotrópica* **14**: 34-63.
- Rützler, K. & I.G. Macintyre.** 1982. The habitat distribution and community structure of the barrier reef complex at Carrie Bow Cay, Belize. En: Rützler & Macintyre (eds). *The Atlantic Barrier Reef ecosystem at Carrie Bow Cay, Belize. 1. Structure and communities*. Smithsonian Institution Press, Washington, DC (Smithson. Con. Mar. Sap. **12**: 9-45).
- Sánchez, J.A.** 1995. Benthic communities and geomorphology of the Tesoro island coral reef, Colombian Caribbean. *An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín.* **24** : 55-77.
- Schönwald, N.** 1998. Distribución y composición de los hábitats marinos asociados a las estructuras arrecifales del área de Isla Grande, archipiélago del Rosario, Caribe Colombiano. Trabajo de grado, Departamento de Biología. Univ. de los Andes. Bogotá. 57 p.
- Schuhmacher, H.** 1978. Arrecifes coralinos, su extensión, mundo animal y ecología. Edit. Omega S.A. Barcelona, 288 p.
- Smith, G., L.D. Ives, I.A. Nagelkerken & K.B. Ritchie.** 1996. Aspergilliosis associated with Caribbean sea fan mortalities. *Nature* **382**: 487.
- Solano, O.D.** 1987. Estructura y diversidad de la comunidad de corales hermatípicos de la bahía de Chengue (Parque Nacional Natural Tayrona). Tesis de Grado M. Sc. Universidad Nacional de Colombia. 111 p.
- Vernette, G.** 1982. Huellas de la última transgresión marina en la región de Cartagena. *Bol. Cient. CIOH* **4**: 33-47.
- Vernette, G.** 1985. Le plate-forme continentale Caraïbe de Colombie: Importance du diapirisme argileux sur le morphologie et la sédimentation. Thèse Doctorat. Mem. Inst. Geol. Bassin d'Aquitaine. N° **20**, 387 p.
- Vernette, G.** 1989a. Examples of diapiric control on shelf topography and sedimentation patterns on the Colombian Caribbean continental shelf. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. **2** No. 4 pp. 391 - 400.
- Vernette, G.** 1989b. Impact du diapirisme argileux sur les récifs de la plate-forme colombienne des Caraïbes. *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux.* **45** : 97-105.
- Warding, B. & H. Sánchez.** 1979. Situación general de las estructuras arrecifales. En: Informe faunístico y florístico de las Islas del Rosario en la Costa Norte de Colombia. *An. Inst. Inv. Mar. Punta Betín.* **11**: 7-20.
- Zea, S.** 1993. Cover of sponges and other sessile organisms in rocky and coral reef habitats of Santa Marta, Colombian Caribbean Sea. *Caribb. J. Sci.* **29**(1-2): 75-88.