

MORFOLOGÍA Y ESTRUCTURA DE LAS FORMACIONES CORALINAS DEL ARCHIPIÉLAGO DE SAN BERNARDO, CARIBE COLOMBIANO

por

Mateo López-Victoria & Juan M. Díaz*

Resumen

López-Victoria, M. & Díaz Juan M.: Morfología y estructura de las formaciones coralinas del Archipiélago de San Bernardo, Caribe colombiano. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **24**(91): 219-230, 2000. ISSN 0370-3908.

El archipiélago de San Bernardo es un extenso complejo arrecifal de origen coralino localizado frente a las costas del Caribe colombiano. Con el objeto de determinar la distribución, rasgos morfológicos, estructura y esquemas de zonación de los ambientes bentónicos de esa área, mediante fotografías aéreas y observaciones de campo, se produjeron mapas temáticos y se obtuvieron datos acerca de la estructura de las comunidades de organismos sésiles del fondo. El complejo abarca un área de más de 250Km², de los cuales más del 60% corresponde a fondos con cobertura coralina alta (> 60% del sustrato), que se extiende hasta casi 30m de profundidad. Se reconocieron tres unidades geomorfológicas y siete tipos principales de hábitats o de unidades ecológicas.

Palabras clave: Áreas coralinas, unidades ecológicas, sistema de información geográfico.

Abstract

The Archipelago of San Bernardo is an extensive reef complex of coralline origin located off the Caribbean coast of Colombia. In order to determine the distribution, morphological features, structure, and zonation patterns of the bottom environments of this area, employing aerial photography and observations in the field, thematic maps were produced and a series of data upon the structure of the sessile benthic biota was gathered. The complex comprises an area of more than 250km², of which more than 60% corresponds to bottoms with notable coral cover (> 60% of the bottom) extending to depths of nearly 30m. Three geomorphological units and seven main types of habitats or ecological units were recognized.

Key words: Coraline areas, ecological units, geographic information system.

* Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, A.A. 1016, Santa Marta, Colombia. E-mail: mateo@invemar.org.co & jmdiaz@invemar.org.co

Introducción

Desde el Terciario Superior el desarrollo de arrecifes coralinos fue considerable en muchas áreas a lo largo de la costa continental del Caribe colombiano. No obstante, las formaciones recientes (Holocénicas) se desarrollan hacia el borde de algunas porciones de costa o conforman bajos y archipiélagos a cierta distancia de la costa sobre la plataforma continental (ver **Prahl & Erhardt, 1985; Wells, 1988**). El área de mayor desarrollo y extensión arrecifal corresponde a una franja en la parte central de la plataforma continental que se extiende por unos 165 km en sentido SW-NE, aproximadamente entre los paralelos $9^{\circ} 25'$ y $10^{\circ} 30' N$. Incluidos en este sector se encuentran algunos arrecifes franjeantes, varios bancos coralinos relativamente profundos y formaciones de morfología y estructura diversa alrededor de las islas del Rosario, San Bernardo, Fuerte y Tortuguilla (Figura 1). En la mayoría de los casos se trata de estructuras arrecifales asentadas sobre altorelieves originados por deformación de los estratos sedimentarios de la plataforma, las cuales han quedado parcialmente emergidas a causa de la orogenia y el glacioeustatismo durante el Holoceno (**Vernette, 1989**).

Si bien se han realizado diversos estudios que describen la composición, zonación y distribución de las formaciones coralinas de este sector del Caribe colombiano, particularmente de las Islas del Rosario (**Pfaff, 1969; Werding & Sánchez, 1979; Martínez & Vernette, 1981; Ramírez et al., 1985; Sánchez, 1995**), Islas de San Bernardo (**Erhardt & Meinel, 1975; Prahl & Erhardt, 1985; Laverde et al., 1987; Patiño & Flórez, 1993; Ramírez et al., 1994**) e Isla Fuerte y bajos aledaños (**Díaz et al., 1996a**), sólo unos cuantos de ellos incluyen mapas temáticos y análisis que resalten los rasgos básicos de las formaciones coralinas (ver **Alvarado, 1992**). Es precisamente la información sobre las características de la base natural, acompañada de mapas temáticos, una de las bases fundamentales para diseñar y poner en marcha programas de manejo integrado de las zonas costeras (ver **Olsen, 1997**).

La interpretación de fotografías aéreas y otros productos de sensores remotos permite discriminar diversos tipos de fondos marinos someros en áreas caracterizadas por aguas relativamente transparentes como en las que usualmente se desarrollan las formaciones coralinas (**Hopley, 1978; Bour & Pichon, 1996**). De hecho, no son pocos los estudios geomorfológicos, ecológicos y de zonificación de áreas coralinas que incluyen información obtenida mediante sensores remotos (p.ej. **Rützler & Macintyre, 1982; van Duyl, 1985; Weiss & Multer, 1988; Mumby et al., 1998**). También en Colombia se han

realizado desde años recientes algunos estudios de ese tipo, la mayoría como parte de un programa de evaluación y caracterización de áreas coralinas adelantado por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR (ver **Sánchez, 1995; Díaz et al., 1995, 1996a,b,c; Geister & Díaz, 1997; Pinzón et al., 1998**).

El objetivo del presente trabajo es, en un contexto ecológico-geográfico regional, interpretar los rasgos geomorfológicos y caracterizar la zonación y estructuras ecológicas de las formaciones coralinas de una de las áreas arrecifales más extensas del Caribe colombiano.

Área de estudio

El Archipiélago de San Bernardo está localizado en la región central de la plataforma continental del Caribe colombiano, frente a las costas del departamento de Sucre, entre las coordenadas $9^{\circ} 39'$ y $9^{\circ} 52' N$ y $75^{\circ} 41'$ y $75^{\circ} 57' W$ (Figura 2). Compuesto por nueve islas (Boquerón, Cabruna, Ceycén, Mangle, Maravilla, Múcura, Palma, Panda y Tintipán) y un islote artificial (Santacruz del Islote), que en suma ocupan una superficie de 450 hectáreas, está habitado por cerca de un millar de personas que derivan su sustento de la pesca artesanal y, en menor medida, del turismo. Desde diciembre de 1996 la mayor parte de las áreas coralinas y las islas Maravilla y Mangle hacen parte del Sistema de Parques Nacionales como un anexo del Parque Nacional Natural Corales del Rosario, para entonces preexistente.

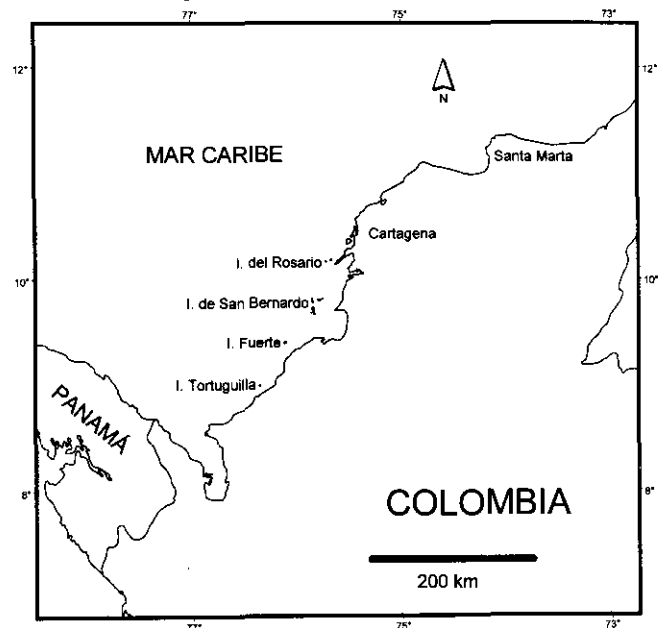


Figura 1. Mapa del Caribe colombiano indicando la localización del archipiélago de San Bernardo.

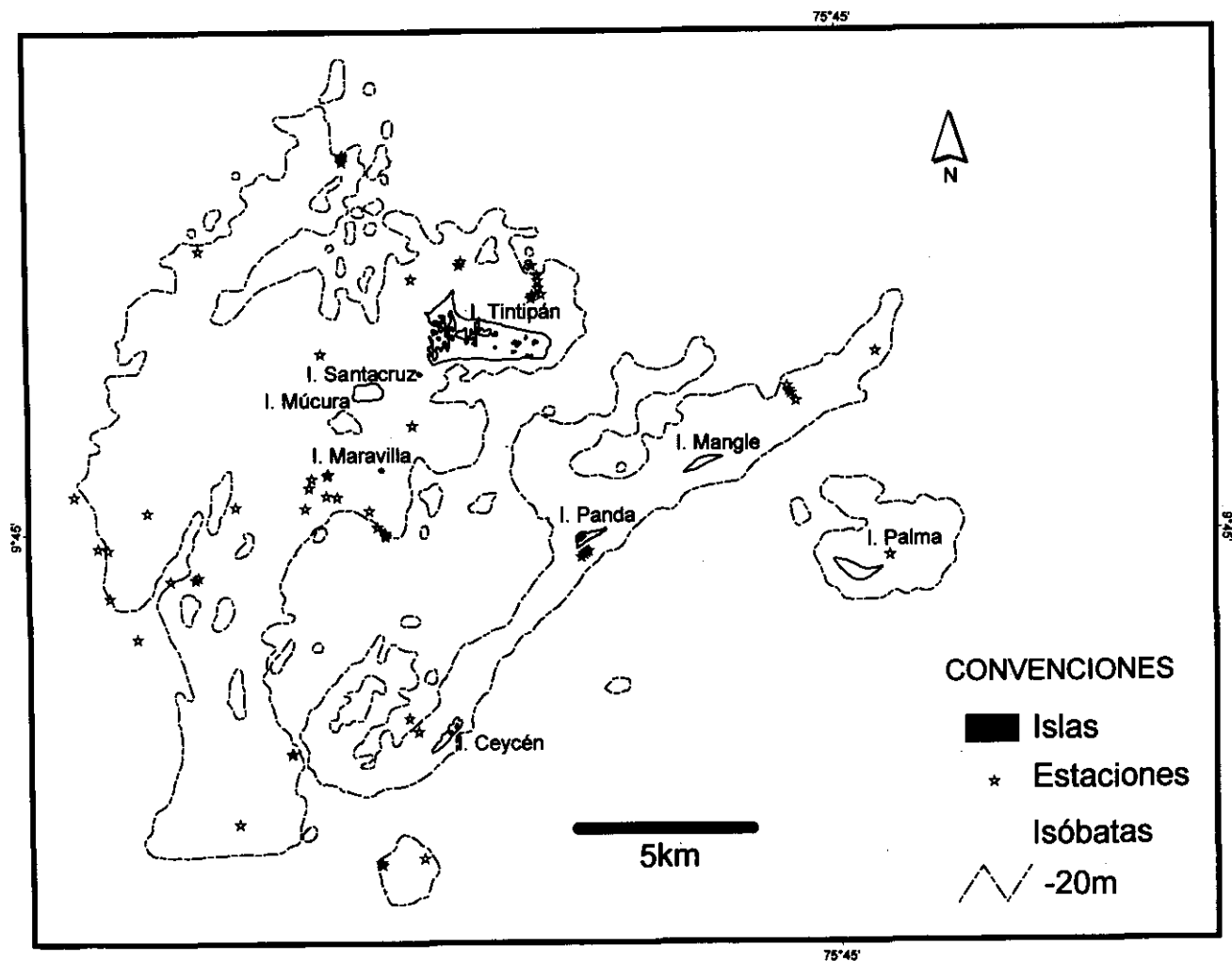


Figura 2. Mapa detallado del archipiélago de San Bernardo con los rasgos batimétricos principales y la ubicación de las estaciones de registro.

Geológicamente, el archipiélago hace parte de una serie de altorrelieves de la plataforma continental, que en conjunto presentan una orientación de 30° con respecto al N, siguiendo la misma tendencia de la mayoría de las serranías y demás estructuras geológicas costeras, y que se distribuyen irregularmente entre los paralelos $9^\circ 01'N$ (Isla Tortuguilla) y $10^\circ 30'N$ (Bajo Salmedina) (ver **Vernette**, 1985). Sobre la cima de algunos de estos altorrelieves, originados desde el Terciario Superior por deformación de los estratos sedimentarios de la plataforma, debido al diapirismo de arcillas (= volcanismo de lodo), se depositaron restos calcáreos biogénicos (conchas y esqueletos de diversos organismos) que sirvieron de sustrato inicial para el asentamiento de corales y otra fauna hermatípica, principalmente durante el Holoceno (**Vernette**, 1985, 1989).

El clima está fundamentalmente determinado por el régimen estacional de los vientos alisios del NE, con una temperatura promedio anual de $27^\circ C$ poco variable a lo largo del año y una precipitación total anual alrededor de 1000 mm distribuida irregularmente en dos estaciones hídricas (una época seca y de vientos de diciembre a abril y una época de lluvias y predominancia de calmas de mayo a noviembre) (**Patiño & Flórez**, 1993). La temperatura superficial del agua oscila muy poco alrededor de $29^\circ C$ y la corriente predominante se da en sentido SW-NE, y se conoce como la contracorriente de Panamá (**Pujos et al.**, 1986). El oleaje dominante proviene del NE, pero en la segunda mitad del año son frecuentes las marejadas del S y SW. Las mareas, al igual que en el resto del Caribe colombiano son semidiurnas, con una amplitud inferior a 0.5m (**Javelaud**, 1986). Aunque por su localización el

archipiélago está bañado por aguas relativamente claras y de salinidad poco variable (alrededor de 35), recibe ocasionalmente la influencia de aguas provenientes de la desembocadura del río Sinú, localizada unos 30km al S del extremo sur del archipiélago.

Materiales y métodos

Inicialmente se hizo una recopilación y un análisis de la información secundaria disponible sobre el área, incluyendo series de fotografías aéreas pancromáticas a escala aproximada 1:50.000, tomadas en 1954, 1957 y 1987 por el Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", la carta náutica a escala 1:80.000 (U.S. DMA #24511, 1995), así como documentos publicados e inéditos y testimonios verbales de buzos e investigadores conocedores de la región. Como complemento se efectuó un sobrevuelo de reconocimiento en noviembre de 1997 para tomar fotografías oblicuas e imágenes de video. Dicha información se empleó para elaborar los mapas preliminares que se utilizaron para pre-determinar los lugares de registro y toma de muestras y los puntos de control. Un total de 60 estaciones y 171 puntos de control fueron visitados en enero, abril y septiembre de 1998 (Figura 2).

Los puntos de control consistieron en reconocimientos rápidos tendientes a determinar la posición geográfica (GPS, margen de error aprox. 40m) y la profundidad (mediante una ecosonda manual), haciendo anotaciones sobre las características del fondo (cobertura relativa estimada de sustratos y elementos de la biota sésil dominante). En algunos casos se registraron las especies de coral dominantes y el porcentaje aproximado de cobertura de coral vivo. En las estaciones propiamente dichas, además de lo anterior, se hicieron estimaciones de la intensidad del oleaje o turbulencia, intensidad y dirección de la corriente (en ambos casos mediante apreciación subjetiva: en una escala arbitraria: 1=intensidad mínima, 5=intensidad máxima). La estructura de la comunidad del fondo fue evaluada dentro de una parcela imaginaria con características homogéneas y un área de unos 400 m², estimando visualmente los valores de cobertura relativa de las variables consideradas siguiendo la siguiente secuencia: Sustrato duro (D) vs. blando (B) (considerando el porcentaje de cobertura de corales vivos, corales muertos y material duro parental como sustrato duro, y fondos de arena y arena-cascajo como sustrato blando), coral vivo (CVI) (con respecto al sustrato duro, teniendo en cuenta el porcentaje de cobertura de las principales especies de corales pétreos), coral muerto (CMU) (con respecto al sustrato duro, teniendo en cuenta el porcentaje del fondo cubierto por

coral muerto), especies de coral (porcentaje de cobertura de cada una de las principales especies de coral presentes) y por último otros organismos sésiles sobre coral muerto y material duro parental. Las observaciones se hicieron empleando equipo autónomo de buceo (SCUBA) en las estaciones en las que en el fondo se encontraba a profundidades superiores a 5 m.

La información espacial fue digitalizada en un sistema de información geográfica (SIG-ILWIS 2.1) con una resolución de escala de 1: 50.000. Los mapas de unidades geomorfológicas y ecológicas se digitalizaron con base en la carta náutica y las fotografías aéreas pancromáticas, complementando la información con detalles observables en las fotografías oblicuas y/o las imágenes de video. Los esquemas de zonación y las unidades ecológicas fueron definidas con base en el modelo de "wave zones" de Geister (1975, 1983) de acuerdo con la composición coralina y el relieve del fondo, adaptando los protocolos comúnmente empleados en estudios de ecología del paisaje (ver Andrade & González, 1995). El nombre con que se designaron las distintas unidades ecológicas se basó en la(s) especie(s) dominante(s) de coral, esto es, aquellas que en suma constituían al menos el 50% de la cobertura total de coral vivo en cada estación. En aquellos casos en los que la cobertura de coral vivo no superó el 10% del total del fondo, las unidades fueron definidas con base en otros atributos bióticos o físicos del fondo. La distribución de las unidades por debajo de los 10-13 m de profundidad (límite aproximado de resolución de las fotografías aéreas) fue inferida de observaciones puntuales y extrapoladas a toda el área de estudio de acuerdo con los rasgos topográficos y batimétricos. Así, los límites entre las unidades corresponden a franjas con rangos batimétricos definidos.

Resultados

El área total ocupada por el archipiélago de San Bernardo, incluyendo los bajos coralinos aledaños es de unos 250 km² (sin incluir las islas Cabrera y Boquerón). Las islas y fondos más someros representan las porciones más elevadas de una serie de altorelieves ondulados de la plataforma continental. Aunque el rango máximo de profundidad no alcanza a ser superior a 40 m, el relieve general de los fondos en el área es heterogéneo y variado, con gradientes verticales pronunciados debido principalmente a la topografía kárstica y en menor grado a la acreción arrecifal (Figura 3). El área ocupada por las islas es de 4,5 km², equivalentes al 1,8% de la superficie total del complejo.

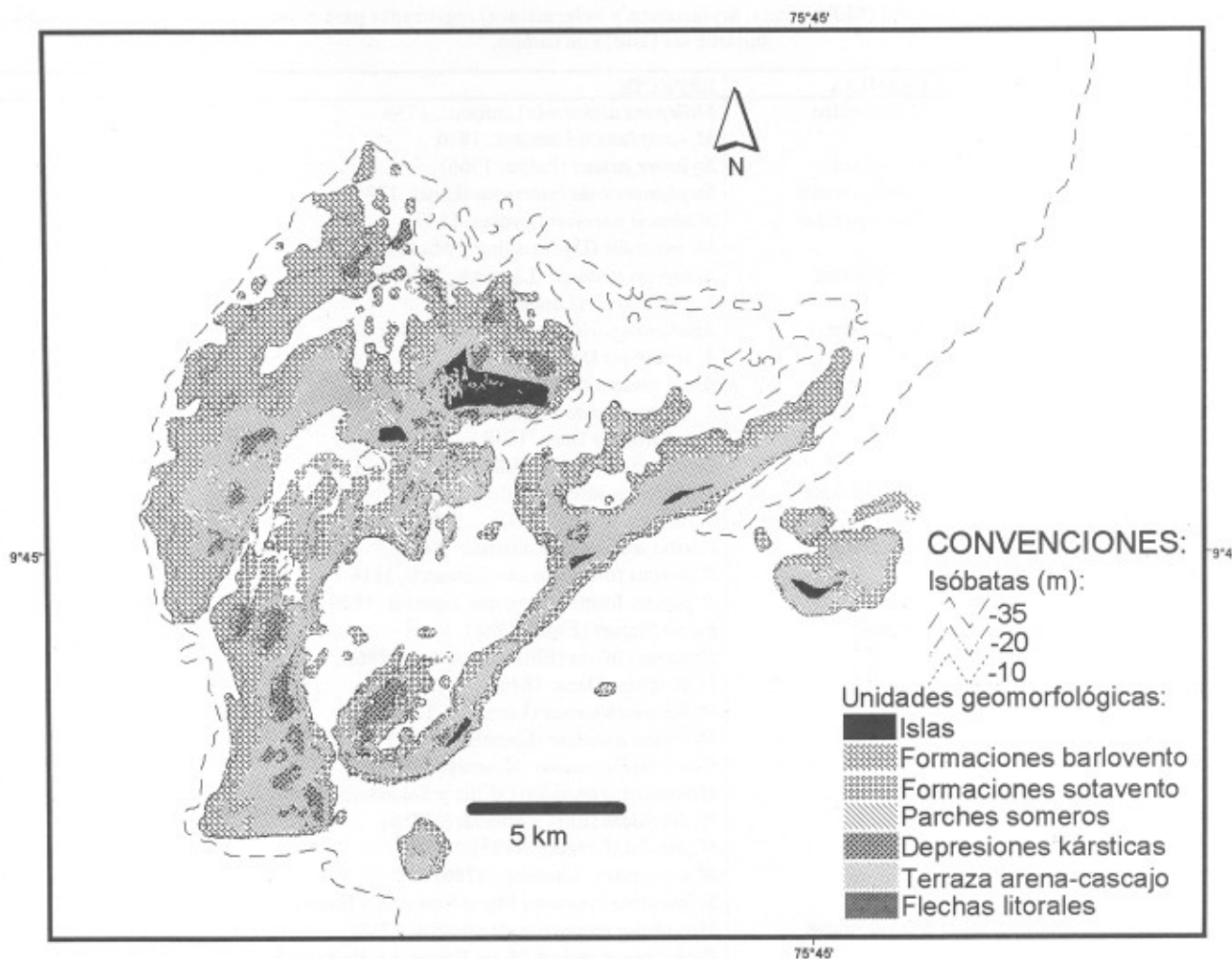


Figura 3. Mapa de las unidades geomorfológicas definidas para el archipiélago de San Bernardo.

Aunque las formaciones coralinas recientes se distribuyen irregularmente por toda el área del complejo (Figura 3), las que alcanzan un mayor desarrollo arrecifal se localizan preferencialmente sobre los planos someros y vertientes del sector de barlovento (Formaciones barlovento; partes W, NW y N), desde unos pocos metros por debajo de la superficie hasta cerca de los 30 m de profundidad. En las porciones más elevadas de los bajos Minalta y Tio Solda se insinúa incluso un sistema de espolones y canales (spur and groove system) orientado en sentido NE-SW, conforme con la dirección del oleaje predominante. Por otro lado en forma dispersa y sin alcanzar a conformar un verdadero andamiaje arrecifal, en la parte central y a sotavento del complejo bordeando los flancos S y E, se observaron formaciones coralinas conspicuas que por lo general se extienden hasta profundidades de

25 m (Formaciones sotavento). Finalmente, sobre los planos superiores que rodean las islas se desarrollan discretamente parches o montículos coralinos aislados de forma irregular y tamaño variable, que generalmente están constituidos y dominados por especies del género *Porites* (Parches someros).

Las unidades geomorfológicas restantes son el sistema de depresiones kársticas diseminado por todo el complejo, la plataforma somera (5m de profundidad) del sistema de bajos, las islas y las flechas litorales. Las depresiones kársticas presentan formas ovaladas de diversos diámetros, con diferencias de profundidad entre el borde (superior) y el fondo (en su parte central) de más de 15 m. Este paisaje kárstico es muy conspicuo desde el aire a cierta altura (Figura 4) y se presenta incluso en el interior

Tabla 1. Lista de las especies de coral (Milleporina, Stylasterina y Scleractinea) registradas para el archipiélago de San Bernardo durante las salidas de campo.

CLASE	ORDEN	FAMILIA	ESPECIE		
HIDROZOA	Milleporina	Milleporidae	<i>Millepora alcicornis</i> Linnaeus, 1758 <i>M. complanata</i> Lamarck, 1816		
	ANTHOZOA	Stylasterina	Stylasteridae	<i>Stylaster roseus</i> (Pallas, 1766)	
Scleractinia		Astrocoeniidae	<i>Stephanocoenia intersepta</i> (Esper, 1795)		
		Pocilloporidae	<i>Madracis decactis</i> (Lyman, 1859) <i>M. mirabilis</i> (Duchassaing y Michelotti, 1861)		
		Acroporidae	<i>Acropora palmata</i> (Lamarck, 1816) <i>A. cervicornis</i> (Lamarck, 1816)		
			Agariciidae	<i>Agaricia agaricites</i> (Linnaeus, 1758) <i>A. tenuifolia</i> Dana, 1848 <i>A. c.f. undata</i> (Ellis y Solander, 1786) <i>A. c.f. grahamae</i> Wells, 1973 <i>A. c.f. fragilis</i> Dana, 1848	
		Siderastreidae		<i>Leptoseris cucullata</i> (Ellis y Solander, 1786) <i>Siderastrea siderea</i> (Ellis y Solander, 1786) <i>S. radians</i> (Pallas, 1766)	
				Poritidae	<i>Porites astreoides</i> Lamarck, 1816 <i>P. porites</i> forma <i>furcata</i> Lamarck, 1816 <i>P. porites</i> forma <i>divaricata</i> Lesueur, 1820
		Faviidae			<i>Favia fragum</i> (Esper, 1788) <i>Diploria clivosa</i> (Ellis y Solander, 1786) <i>D. strigosa</i> (Dana, 1846) <i>D. labyrinthiformis</i> (Linnaeus, 1758) <i>Manicina areolata</i> (Linnaeus, 1758) <i>Colpophyllia natans</i> (Houttuyn, 1772) <i>Montastraea annularis</i> (Ellis y Solander, 1786) <i>M. faveolata</i> (Ellis y Solander, 1786) <i>M. franksi</i> (Gregory, 1895) <i>M. cavernosa</i> (Linnaeus, 1766)
			Meandrinidae		<i>Solenastrea bourmoni</i> Milne Edwards y Haime, 1849 <i>Meandrina meandrites</i> (Linnaeus, 1758) <i>Dichocoenia stokesi</i> Milne Edwards y Haime, 1848
				Mussidae	<i>Scolymia c.f. cubensis</i> (Milne Edwards y Haime, 1849) <i>S. c.f. lacera</i> (Pallas, 1766) <i>Mussa angulosa</i> (Pallas, 1766) <i>Isophyllia sinuosa</i> (Ellis y Solander, 1786) <i>Isophyllastrea rigida</i> (Dana, 1848) <i>Mycetophyllia lamarckiana</i> Milne Edwards y Haime, 1848 <i>M. c.f. danaana</i> Milne Edwards y Haime, 1849 <i>M. c.f. ferox</i> Wells, 1973 <i>M. c.f. aliciae</i> Wells, 1973
			Caryophylliidae		<i>Eusmilia fastigiata</i> (Pallas, 1766)
					Dendrophyllidae

de las islas Tintipán, Ceycén y Panda, donde forma lagunas de agua salada o salobre, generalmente bordeadas por vegetación de manglar (*Rhizophora mangle*). La mayor parte de la plataforma somera está dominada por planos de arena parcialmente cubiertos por fanerógamas marinas, particularmente alrededor de las islas, con algún de-

sarrollo coralino en forma de colonias masivas dispersas. Las islas, cuya altura sobre el nivel medio del mar varía entre 80 cm y 2 m aproximadamente (Múcura y Tintipán que son las de mayor elevación), representan las porciones emergidas de estructuras coralinas subfósiles y acumulaciones de escombros calcáreos. Por último, las fle-

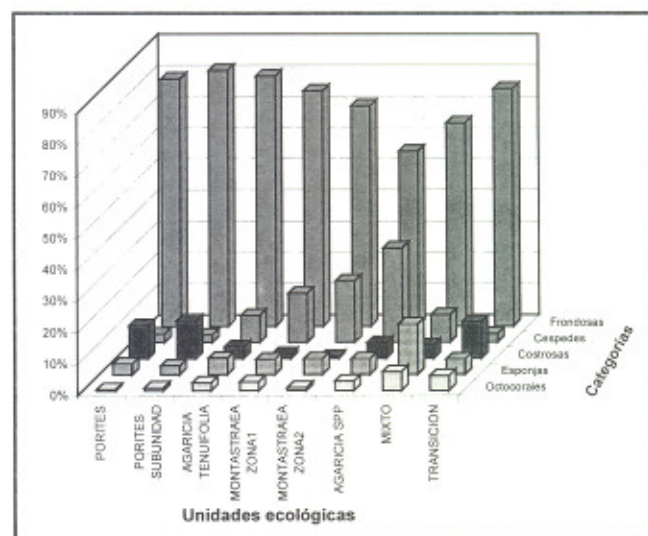
Tabla 2. Valores de las distintas variables empleadas para caracterizar las unidades ecológicas de los fondos coralinos del archipiélago de San Bernardo

Unidad ecológica	N	Relación sustrato duro/blando	% coral vivo promedio	Rango Batimétrico (m)	Pendiente aprox. (x°)	Relieve	Nº de especies de coral	Grado de Exposición al oleaje	Área aprox. km ²	% de cobertura
<i>Porites porites</i> -Subunidad	19	96/4	51.6	0-7	0-30	ondulado	16	4	19	7,7
<i>P. astreoides</i> -Subunidad	4	100/0	30.0	3-15	0-30	plano	11	4	-	-
<i>M. alvicornis</i>	1	100/0	30.0	2.5	0-30	plano	3	4+	-	-
<i>Agaricia tenuifolia</i>	4	85/15	30.0	9-13	30-60	ondulado	20	3	23	9,5
<i>Montastraea spp.</i>	12	76/24	60.1	-	-	-	24	2	79	31,6
-Zona1	-	-	-	4.5-12	0-30	plano	-	2+	-	-
-Zona2	-	-	-	12-21	30-60	ondulado	-	2-	-	-
<i>Agaricia spp.</i>	1	90/10	30.0	10-24	60-90	escarpado	13	1	0.02	0,01
Mixto	8	68/32	41.7	3-25	30-60	plano	25	1-3	37	14,9
Transición	8	87/13	44.4	5-12	0-60	ondulado	20	2-3	-	-
Fanerógamas-arena	-	<5/95	<10	0-10	<30	plano	-	1	76	30,6

**Figura 4.** Fotografía aérea oblicua mostrando las depresiones kársticas alrededor de Santa Cruz del Isote, sector central del archipiélago de San Bernardo.

chas litorales de las islas Tintipán, Múcura, Mangle y Palma están compuestas principalmente por arena y exhiben la misma forma desde 1954, según se deduce de las fotografías del Instituto Geográfico.

Se registró la presencia de 43 especies de corales pétreos, tres de ellas hidrocorales (*Milleporina* y *Stylasterina*) y 40 escleractínios, pertenecientes a 11 familias (Tabla 1). Las especies más frecuentes fueron *Porites astreoides* (en 43 de las 60 estaciones), creciendo por lo general en forma de costras sobre esqueletos viejos y escombros de otras especies, *P. porites* forma *furcata* (43 estaciones), formando frecuentemente extensos parches monoespecíficos en zonas someras, *Colpophyllia natans* (34 estaciones),

**Figura 5.** Cobertura relativa de algas, esponjas y octocorales sobre coral muerto y material parental en el archipiélago de San Bernardo.

Siderastrea siderea (33 estaciones) y *Montastraea annularis* (31 estaciones). Esta última especie, junto con *Montastraea faveolata* y *M. franksi* conforma una de las asociaciones más típicas en la mayoría de formaciones coralinas entre 4 y 21 m de profundidad. Aunque la cobertura viva relativa de *Acropora cervicornis* sólo fue considerable en una estación, fragmentos y escombros de esta especie se observaron en muchas localidades.

De acuerdo con la dominancia en cobertura de las especies coralinas y otros elementos de la biota sésil, se

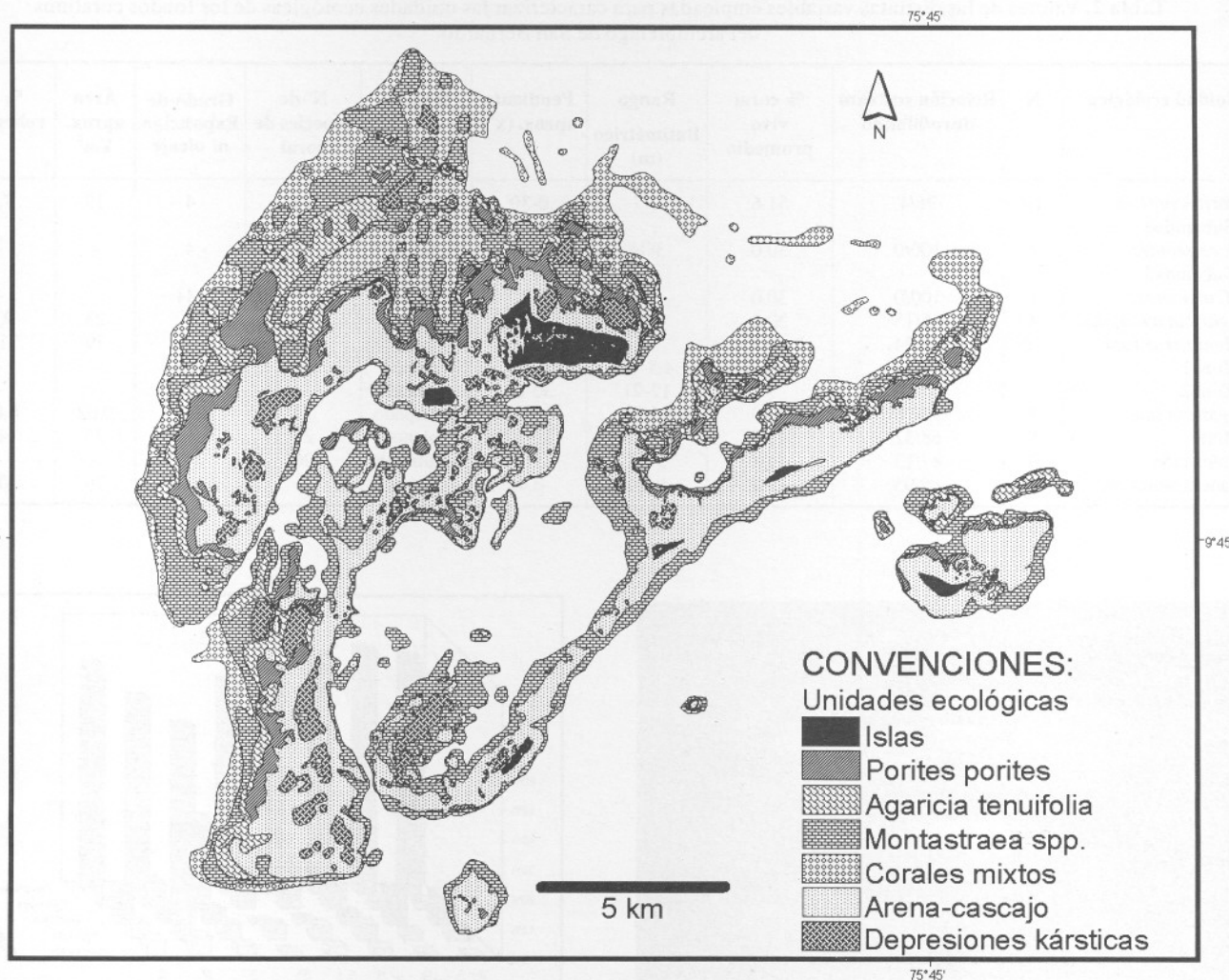


Figura 6. Mapa de las unidades ecológicas definidas para el archipiélago de San Bernardo.

discriminaron siete unidades ecológicas o tipos de hábitats bentónicos principales, cuyos rasgos más característicos se presentan en la Tabla 2 y en la Figura 5. La distribución general de esas unidades en el complejo se muestra en el mapa de unidades ecológicas (Figura 6) mientras que su zonación vertical, con base en el modelo de zonación propuesto, se presenta en la Figura 7.

El promedio de cobertura relativa de coral vivo determinado para toda el área con base en las estaciones de registro fue de 46.2%. Dado que las estaciones fueron escogidas de manera selectiva, omitiéndose algunas localidades muy deterioradas cuya cobertura coralina viva era insignificante, esta estimación tiende a sobrevalorar el estado actual de la comunidad coralina, y por lo tanto debe tomarse con reservas.

Discusión

El área ocupada por los arrecifes, bajos coralinos, islas y planicies sedimentarias del complejo de San Bernardo es de unos 250 km², sin incluir las zonas aledañas a las islas Cabrera y Boquerón, localizadas a escasa distancia de la costa continental. De esta extensión, aproximadamente el 60% corresponde a formaciones arrecifales con alguna cobertura coralina viva y el 30% a fondos arenosos con cobertura de fanerógamas marinas, siendo el 10% restante ocupado por las islas y depresiones kársticas. Ramírez *et al.* (1994) aseveraron que las áreas ocupadas por comunidades de fanerógamas constituían la unidad más extensa en el área del archipiélago, seguramente porque en sus estudios no se consideró el total de las áreas coralinas. Los resultados del presente estudio revelan, por

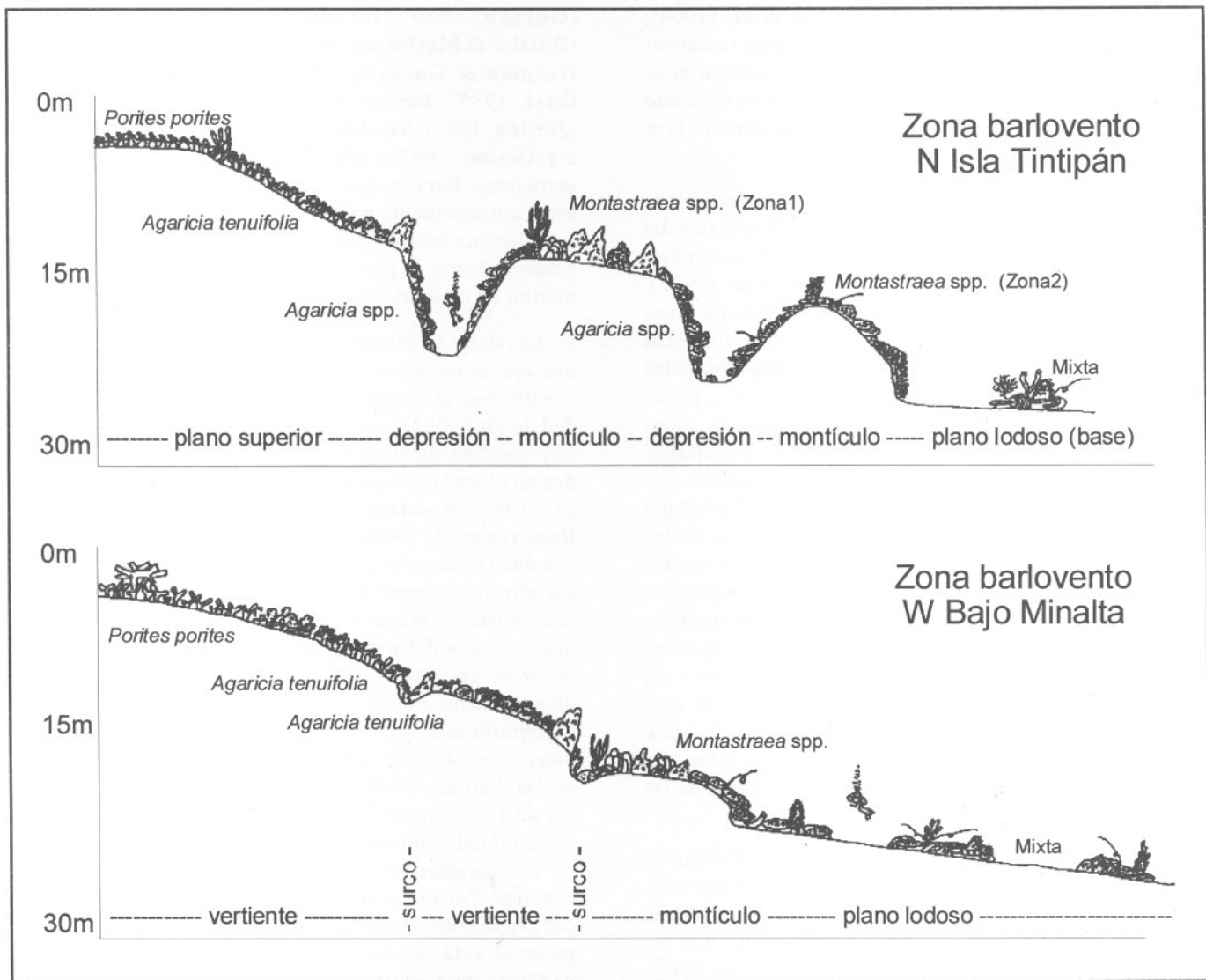


Figura 7. Esquema idealizado de la distribución batimétrica de las unidades ecológicas y geomorfológicas en las zonas expuestas (barlovento) y protegidas (sotavento) del archipiélago de San Bernardo.

el contrario, que son los fondos cubiertos primordialmente por corales los que mayor extensión ocupan.

Uno de los rasgos geomorfológicos más característicos en el complejo arrecifal de San Bernardo es la topografía kárstica, resultado del colapsamiento parcial de los techos de un antiguo sistema de galerías subterráneas ocurrido en una época de un nivel del mar inferior al actual, probablemente durante la última glaciación (Würm o Wisconsin; + o - 110.000 años A.P.), tal y como ha sido señalado para otras regiones (ver Hamblin, 1992; White *et al.*, 1995).

En conformidad con los criterios de Geister (1983), el archipiélago de San Bernardo corresponde a un banco coralino parcialmente emergido, compuesto por un complejo de arrecifes franjeantes, arrecifes de parche, tapetes coralinos (coral carpets, Korallenrassen) y corales dispersos (coral community, Korallengemeinschaft) sobre fondos sedimentarios. En forma similar, Laverde *et al.* (1987) se refirieron al archipiélago como un complejo de arrecifes de franja o borde y parches poliespecíficos. Prahl & Erhardt (1985), Ramírez (1990) y Ramírez & Viña (1992) interpretaron el origen de este complejo arrecifal como el remanente de una antigua barrera de coral ante-

puesta a la costa. Por otro lado **Ramírez et al.** (1994), sugirieron que podría tratarse de una estructura remanente de un antiguo atolón, lo cual carece de sentido si se atiende a que el origen de tales formaciones está asociado con la subsidencia de islas volcánicas oceánicas (ver **Darwin**, 1842; **Schumacher**, 1976).

El origen más probable de ésta y de otras formaciones coralinas en esta región del Caribe colombiano (Islas del Rosario, Bajo Bushnell, Bajo Tortugas, Isla Fuerte, entre otras) fue sugerido originalmente por **Vernette** (1985). Según ese autor, la colonización y asentamiento de organismos hermatípicos y la acumulación de sedimentos biogénicos sobre los altorelieves más someros (formados por deformación de los estratos sedimentarios de la plataforma continental a causa de la actividad diapírica), condujeron a la consolidación de las estructuras arrecifales. Evidencias fósiles y observaciones recogidas durante este estudio, sugieren que debido a los cambios en el nivel del mar, sumados a procesos tectónicos, el origen y morfología actual de las islas son el resultado de acreción coralina reciente ocurrida durante la última transgresión Holocénica (+ o - 3500 años A.P.), tal y como lo sugieren **Burel & Vernette** (1982) para el caso de las formaciones coralinas fósiles en el área de Isla Barú (cerca de Cartagena) y **Pérez-Preciado** (1988) para el caso de acumulaciones de moluscos marinos fósiles en la Guajira. Conclusiones sobre este aspecto sólo son posibles una vez se determinen con mayor precisión las edades de las formaciones fósiles.

A pesar de las limitaciones de tiempo para la toma de un mayor número de datos potencialmente útiles (e.g. velocidad de la corriente, descarga energética por oleaje, incidencia lumínica, etc.) y teniendo en cuenta que los protocolos utilizados son una modificación de los considerados para definir unidades de paisaje terrestres, la identificación y definición de las unidades ecológicas parece ser acertada, pues en su mayoría coinciden con las descritas por otros autores para otras formaciones del Caribe. De esta manera, las unidades *Porites porites*, *Agaricia tenuifolia*, *Montastraea* spp., *Agaricia* spp. y Mixta, son homólogas con formaciones coralinas de Jamaica

(**Goreau**, 1959; **Goreau & Goreau**, 1973), Belize (**Rützler & Macintyre**, 1982), Panamá (**Greb et al.**, 1996; **Guzmán & Guevara**, 1998), Curaçao y Bonaire (**van Duyl**, 1985), Barbados (**Stearn et al.**, 1977), México (**Jordán**, 1993), San Andrés (**Díaz et al.**, 1995), Providencia (**Geister**, 1992) e Islas del Rosario (**Schönwald**, 1998), entre otras. Por otro lado, al igual que en la mayoría de las áreas anteriormente mencionadas, la unidad *Montastraea* spp. domina las formaciones coralinas actuales, constituyéndose como el principal componente del paisaje submarino en el archipiélago de San Bernardo.

Los datos cuantitativos de las unidades ecológicas son una aproximación a los distintos valores de cobertura, y constituyen la primera información que cubre la totalidad de los hábitats bentónicos de esta área con una cobertura coralina superior al 10%. Las observaciones realizadas en el archipiélago en estudios anteriores (**Laverde et al.**, 1987; **Ramírez**, 1990; **Ramírez & Viña**, 1992; **Ramírez et al.**, 1994) se concentraron en zonas poco expuestas (sotavento) por encima de 10m de profundidad. En términos generales, los límites entre las unidades ecológicas permiten ser trazados a lo largo de isóbatas más o menos definidas, con algunas variaciones particularmente en la zona de barlovento debida a la presencia de una mayor cantidad de unidades ecológicas y de una topografía más variada. La acentuada abundancia de las categorías "algas frondosas", "octocorales" y "esponjas" en las distintas unidades ecológicas reitera la importancia de estos grupos en la composición de la comunidad arrecifal del complejo, así como la necesidad de considerar una caracterización más detallada de ellos en futuros estudios. Por lo pronto, el caso de las algas como principal grupo colonizador del coral muerto y el material duro parental, está siendo estudiado (**J. C. Márquez**, Trabajo de Grado en preparación).

El número de especies de corales escleractinios (40 especies) e hidrocorales (3 especies) encontrados en el área equivale a cerca del 70% del total de especies de corales pétreos someros conocidas hasta ahora del Caribe colombiano (cerca de 60). Ese número es similar a los registrados en otras áreas como Islas del Rosario (47 espe-

Tabla 3. Valores para los distintos rangos en que fueron ubicadas las 60 estaciones muestreadas

Rangos	N° de estaciones	% promedio de coral vivo	% de estaciones por rango
buen estado	17	71,8	28,3
regular estado	29	41,6	48,3
mal estado	14	24,7	23,3

cies), San Andrés (41 especies) y la región de Santa Marta (40 especies) [datos modificados a partir de **Prahl & Erhardt** (1985)]. Sin embargo, las especies más abundantes y que por ende pueden considerarse como las mayormente responsables de la construcción del andamiaje arrecifal son apenas unas cuantas (primordialmente *Acropora palmata* y *Montastraea* spp.). Estas mismas especies son también las de mayor importancia en la acreción arrecifal en otras regiones del Caribe (cf. **Goreau**, 1959; **Geister**, 1983; **Jordán**, 1993). Es de destacar, sin embargo, la muy escasa cobertura viva actual de las especies del género *Acropora*. Escombros de *A. cervicornis* cubiertos por macroalgas se observaron por doquier en la zona de barlovento del complejo, especialmente al norte de la isla Tintipán, entre los 4 y 10 m de profundidad, lo que sugiere uno o varios eventos de mortandad de acropóridos en las últimas décadas. La enfermedad epidémica de la banda blanca y eventos recurrentes de blanqueamiento coralino han sido los principales causantes de la generalizada mortandad de acropóridos en el Mar Caribe desde comienzos de la década de los 80 (cf. **Williams & Bunkley-Williams**, 1990). La presencia de una relativamente amplia zona con escombros de *A. palmata* en la parte N y W del complejo, sugiere la existencia, en tiempos pasados, de estructuras arrecifales considerables constituidas por esta especie, las cuales se disponían como una cinta que bordeaba la parte somera de los bajos, perpendicularmente a la dirección del oleaje predominante. No obstante, y pese a que **Prahl & Erhardt** (1985) mencionaron la presencia de una barrera constituida por *A. palmata* al N de la isla Tintipán, nuestras observaciones sugieren que, si bien el desarrollo de *A. palmata* en el complejo alcanzó a ser significativo, distó mucho de conformar una barrera con rompiente.

Aunque las formaciones coralinas del archipiélago de San Bernardo exhiben un desarrollo estructural poco avanzado, los resultados arrojados por este estudio las ubican como las de mayor extensión sobre la plataforma continental colombiana, superadas únicamente por algunos de los complejos oceánicos del archipiélago de San Andrés y Providencia (comparación basada en datos no publicados).

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a los colegas que colaboraron durante las salidas de campo (Gloria H. Ospina, Lina M. Barrios, Sven Zea, Jaime Garzón-Ferreira, Fernando Parra y María H. Cendales), así como al personal del INVEMAR por su apoyo logístico y a COLCIENCIAS por la financiación del Trabajo de Grado a partir del cual este artículo fue escrito. De igual forma

expresan su gratitud hacia los habitantes del archipiélago de San Bernardo de quienes recibieron valiosa ayuda y colaboración.

Bibliografía

- Alvarado, E. M.** (Ed). 1992. Sistemas arrecifales en Colombia: Investigación y manejo. Bol. Ecotrópica, Supl. 1.
- Andrade, A. & A. González.** 1995. Base de datos para la zonificación ecológica: Una propuesta. SIG-PAFC. Año 2. (5-6):30-85. Bogotá.
- Bour, W. & M. Pichon.** 1996. Discrimination of scleractinian-dominated from other reef communities using SPOT satellite imagery. Proc. 8th Int. Coral Reef Sym. Panamá. 2: 1487-1489.
- Burel, T. & G. Vernet.** 1982. Huellas de la última transgresión marina en la región de Cartagena. Bol. Cient. CIOH. (4): 33-47.
- Darwin, Ch.** 1842. The structure and distribution of coral reefs. (Reproducido en 1962 por University of California Press, Berkeley, 214 p.).
- 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 Alvarez Lleras No. 7. 150p.
- Díaz, J. M., J. A. Sánchez & G. Díaz-Pulido.** 1996a. Geomorfología y formaciones arrecifales recientes de Isla Fuerte y Bajo Bushnell, plataforma continental del Caribe colombiano. Bol. Invest. Mar. Cost. 25: 87-105.
- _____, **J. A. Sánchez, S. Zea & J. Garzón-Ferreira.** 1996b. Morphology and marine habitats of two southwestern Caribbean atolls: Albuquerque and Courtown. Atoll Res. Bull. 435: 1-27.
- _____, **G. Díaz-Pulido, J. Garzón-Ferreira, J. Geister, J. A. Sánchez & S. Zea.** 1996c. Atlas de los arrecifes del Caribe Colombiano. I. Complejos arrecifales oceánicos, INVEMAR, Publ. Esp., (2). Santa Marta, 83p.
- Erhardt, H. & W. Meinel.** 1975. Die Scleractinen Korallen der Isla Ceypén, Islas San Bernardo, von der kolumbianischen Atlantikküste. Philippia, (2): 236-247.
- Geister, J.** 1975. Riffbau und geologische Entwicklungsgeschichte der Insel San Andrés. Stuttgarter Beiträge Naturkunde (Geol. Paleönt.), (15): 1-203.
- _____. 1983. Holozäne westindische Korallenriffe: Geomorphologie, Ökologie und Fazies. Facies, (9): 173-284.
- _____. 1992. Modern Reef Development and Cenozoic Evolution of an Oceanic Island/Reef Complex: Isla Providencia (Western Caribbean Sea, Colombia). Facies, (27): 1-70.
- Geister, J. & J. M. Díaz.** 1997. A field guide to the oceanic barrier reef and atolls of the southwestern Caribbean (archipiélago of San Andrés and Providencia, Colombia). Proc. 8th Int. Coral Reef Sym. 1: 235-262.
- Goreau, T. F.** 1959. The ecology of Jamaican coral reefs. I. Species composition and zonation. Ecology. 40 (1): 67-90.
- _____, & **N. I. Goreau.** 1973. The ecology of Jamaican coral reefs. II. Geomorphology, zonation, and sedimentary phases. Bull. Mar. Sci. 23 (2): 399-464.

- Greb, L., B. Saric, H. Seyfried, T. Broszonn, S. Brauch, G. Gugau, C. Wiltshcko & R. Leinfelder.** 1996. Ökologie und Sedimentologie eines rezenten Rampensystems an der Karibikküste von Panamá. *Profil* 10: 1-168, Stuttgart.
- Guzmán, H. M. & C. A. Guevara.** 1998. Arrecifes coralinos de Bocas del Toro, Panamá: I. Distribución, estructura y estado de conservación de los arrecifes continentales de la Laguna de Chiriquí y la Bahía Almirante. *Rev. Biol. Trop.*, 46(3): 601-623.
- Hamblin, W. K.** 1992. *Earth's Dynamic Systems*. Sixth Edition. Macmillan Publishing Company. New York. 647p.
- Hopley, D.** 1978. Aerial photography and other remote sensing techniques. En D. R. Stoddart y R. E. Johannes. *Monographs on oceanographic methodology* 5. UNESCO. pp. 23-44.
- Javelaud, O.** 1986. Sedimentología de la plataforma continental del Caribe colombiano. *Bol. Cient. CIOH*, (6): 17-39.
- Jordán, E.** 1993. Atlas de los arrecifes coralinos del Caribe Mexicano. Parte I. El sistema continental. Centro de investigaciones de Quintana Roo, Chetumal, México. 110p.
- Laverde, J., R. Araújo, G. Vargas & E. Patiño.** 1987. Monitoreo del golfo de Morrosquillo. 1ª parte. Aspecto biológico. Informe Especial Asociación Cravo Norte.
- Martínez, S. H. de & G. Vernet.** 1981. El complejo arrecifal de las Islas del Rosario, zonación coralina, sedimentos y foraminíferos bentónicos. *Rev. CIAF, Bogotá*, 6(1-3): 329-345.
- Mumby, P. J., E. P. Green, C. D. Clark & A. J. Edwards.** 1998. Digital analysis of multispectral airborne imagery of coral reefs. *Coral Reefs*. Springer-Verlag. 17(1):59-69.
- Olsen, S. B.** 1997. A framework for the contribution of the sciences to effective coral reef management. *Proc. 8th Int. Coral reef Sym., Panamá*, 2: 1973-1976.
- Patiño, F. & F. Flórez.** 1993. Estudio ecológico del Golfo de Morrosquillo. Universidad Nacional de Colombia y fondo FEN-COLOMBIA, Bogotá, 295p.
- Pérez-Preciado, A.** 1988. Evolución paleogeográfica y dinámica actual de los medios naturales de la Península de la Guajira (Colombia). *Colombia Geográfica*, 14 (1): 7-43.
- Pinzón, J., A. Perdomo & J. M. Díaz.** 1998. Isla Arena, una formación coralina saludable en el área de influencia de la pluma del río Magdalena, plataforma continental Caribe colombiano. *Bol. Inv. Mar. y Cost.* 27 (1): 21-37.
- Pfaff, R.** 1969. Las Scleractinia y Milleporina de las Islas del Rosario. *Mitt. Inst. Colombo-Alemán Inv. Cient.* (3): 17-24. (Hoy *Bol. Inv. Mar. y Cost.*)
- Prahl, H. von & H. Erhardt.** 1985. Colombia: corales y arrecifes coralinos. Fondo FEN-COLOMBIA, Bogotá, 295p.
- Pujos, M., J. Pagliardini, R. Steer, G. Vernet & O. Weber.** 1986. Influencia de la contra-corriente norte colombiana para la circulación de las aguas en la plataforma continental: su acción sobre la dispersión de los efluentes en suspensión del río Magdalena. *Bol. Cient. CIOH*, (6): 3-15.
- Ramírez, A.** 1990. Monitoreo de los ecosistemas coralinos del Golfo de Morrosquillo y el Archipiélago de San Bernardo, Fase II. Informe Final. ECOPEPOTOL. Bogotá.
- _____. & G. Viña. 1992. Estructura de las formaciones coralinas de las Islas de San Bernardo. En E.M. Alvarado, Taller de arrecifes coralinos. *Bol. Ecotrópica*, supl.1.
- _____. D. Miranda & G. Viña. 1994. Estructura arrecifal del archipiélago de San Bernardo (Mar Caribe, Colombia). Estudio de línea base. Trianea (Act. Cien. Tecn. INDERENA), (5): 189-219.
- _____. I. B. de Ramírez & J. E. Correal. 1985. Ecología descriptiva de las llanuras madreporarias del Parque Nacional submarino Los Corales del Rosario (Mar Caribe), Colombia. Fondo FEN-COLOMBIA. 71p.
- Rützler, K. & I. G. Macintyre.** 1982. The habitat distribution and community structure of the barrier reef complex at Carrie Bow Cay, Belize. (In) *The Atlantic barrier reef ecosystem at Carrie Bow Cay, Belize*, I. Smithsonian contribution to the marine science. No.12. Smithsonian Institution Press. Washington. pp.9-45.
- Sánchez, J. A.** 1995. Benthic communities and geomorphology of the Tesoro Island coral reef, Colombian Caribbean. *An. Inst. Inv. 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. Universidad de los Andes. Bogotá. 57p.
- Schumacher, H.** 1976. *Korallenriffe, ihre Verbreitung, Tierwelt und ökologie*. BLV Verlagsgesellschaft, München, 275 p.
- Stearn, C. W., T. P. Scoffin & W. Martindale.** 1977. Calcium carbonate budget of a fringing reef on the west coast of Barbados. Part I. Zonation and productivity. *Bull. Mar. Sci.* 27 (3): 479-510.
- van Duyl, F.C.** 1985. Atlas of the living reefs of Curaçao and Bonaire (Netherlands Antilles). The Fundation for Cultural Cooperation (Sticusa). Netherlands. 38p.
- Vernet, G.** 1985. La plate-forme continentale caraibe de Colombie importance du diapirisme argileux sur la morphologie et la sedimentation. Tesis de Doctorado en Ciencias. Universidad de Burdeos, 385 p.
- _____. 1989. Examples of diapiric control on shelf topography and sedimentation patterns on the Colombian Caribbean continental shelf. *J. South American Earth Sci.*, 2 (4): 391-400.
- Weiss, M. P. & H. G. Multer.** 1988. Map of Modern reefs and sediments of Antigua, West Indies. Department of geology Northern Illinois University, Illinois.
- Wells, S.** 1988. *Coral Reefs of the World*. Vol. 1: Atlantic and Eastern Pacific. UNEP/IUCN, Gland, Suiza, 373 p.
- Werding, 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.
- White, B. W., D. C. Culver, J. S. Herman, T. C. Kane & J. E. Mylroie.** 1995. *Karst Lands*. Amer. Scient., 83 (5): 451-459.
- Williams, E. H. & L. Bunkley-Williams.** 1990. The world-wide coral reef bleaching cycle and related sources of coral mortality. *Atoll. Res. Bull.*, 335: 1-71.