

ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD MACROALGAL EN EL SISTEMA ARRECIFAL CORALINO DEL ARCHIPIÉLAGO DE SAN BERNARDO, CARIBE COLOMBIANO

STRUCTURE AND COMPOSITION OF THE MACROALGAL COMMUNITY OF THE CORAL REEF AT SAN BERNARDO ARCHIPELAGO, COLOMBIAN CARIBBEAN

Ana María González¹, Janneth Rojas² y Jaime Polanía³

Resumen

Entre agosto de 1994 y mayo de 1995 se estimó el porcentaje de cobertura de los grupos dominantes de la comunidad macroalgal en el sistema arrecifal coralino de siete islas del archipiélago de San Bernardo, Caribe colombiano. Las muestras se obtuvieron mediante transectos paralelos a la línea de costa a 3, 6 y 10 m de profundidad, tanto a sotavento como a barlovento de las islas. La estructura de la comunidad macroalgal asociada al sistema arrecifal coralino no presentó diferencias biológicas estadísticamente significativas, de acuerdo con su ubicación. En general, la comunidad de macroalgas cubrió 37% del área estudiada. Las representantes de la familia Chlorophyta constituyeron el grupo dominante, cubriendo un 25% del área estudiada, y *Halimeda opuntia* fue la especie dominante. La familia Phaeophyta cubrió 6% del área estudiada y *Dictyota* fue el género más importante. La familia Rhodophyta cubrió 4% para el área y *Jania adhaerens* fue la especie mejor representada. Los géneros de algas filamentosas *Bryopsis* sp. y *Polysiphonia* sp., grupo independiente, cubrió 2% del área estudiada. Las condiciones de nutrientes, temperatura y salinidad son homogéneas para la zona durante el ciclo estudiado. Los sedimentos presentaron elevadas fracciones de lodo y bajos porcentajes de CaCO₃, con fluctuaciones entre los periodos climáticos como probable manifestación de los aportes de aguas continentales sobre este sistema arrecifal.

Las especies estenotópicas *Caulerpa racemosa racemosa* y *Tricleocarpa oblongata* se presentaron únicamente para sotavento, mientras que en barlovento lo hicieron *Caulerpa racemosa peltata*, *Lithothamnion* sp., *Lobophora variegata*, *Amphiroa rigida* y *Porolithon* sp. En el gradiente vertical se presentaron las estenotópicas *Caulerpa racemosa peltata*, *C. racemosa racemosa* y *Lithothamnion* sp. a 3 m de profundidad, y a los 10 m *Lobophora variegata*. La comunidad macroalgal estuvo conformada por *Halimeda opuntia*, *H. discoidea*, *Dictyota* sp.1 y *Jania adhaerens*, con distribución homogénea, de tal manera que pueden ser consideradas especies euritópicas.

Palabras clave: archipiélago de San Bernardo, macroalgal, estenotópicas, euritópicas, bentónicas, vulcanismo, plutonismo.

Abstract

From August 1994 to May 1995 the dominant groups and the relative coverage of components of the macroalgal community in the coral reef system of the San Bernardo archipelago, Colombian Caribbean, were estimated. Samples were obtained along transects parallel to the shore on both the leeward and windward sides of seven small islands at 3, 6 and 10 m depth. Physical and chemical parameters of waters and sedimentation rates were measured at three sites within the area for each one of the four climatic periods. The structure of the macroalgal community did not show statistically significant differences between the sites. In general macroalgae covered about 37% of the bottom area. The Chlorophyta was the most dominant group, covering about 25% of the bottom. *Halimeda opuntia* was the most abundant species. The Phaeophytae achieved 6% in cover, and *Dictyota* was the most important genus. The Rhodophyta covered 4% of the bottom, and *Jania adhaerens* was the dominant species. Filamentous algae of the genus *Bryopsis* and *Polysiphonia*, regarded as an independent group, attained a relative cover of 2%. The water conditions (nutrients, temperature and salinity) were quite homogeneous in the area during the whole studied period. The sediments in the traps revealed high proportion of mud and low contents of CaCO₃, with time variations, suggesting pulsating influence of sediment loaded runoff from the adjacent continental coast.

Recibido: agosto de 1999; aprobado para publicación: octubre de 1999.

¹ San Andrés Isla. E-mail: a_marie@rocketmail.com.

² Universidad de Puerto Rico. E-mail: jrojas@mailcity.com.

³ Instituto de Estudios Caribeños, Universidad Nacional de Colombia. Apartado 438, San Andrés Isla. E-mail: jhpolanv@bacata.usc.unal.edu.co.

Stenotopic species such as *Caulerpa racemosa racemosa* and *Tricleocarpa oblongata* occurred only in leeward locations, where as *Caulerpa racemosa peltata*, *Lithothamnion* sp., *Lobophora variegata*, *Amphiroa rigida* and *Porolithon* sp. were present only in windward sites. In regard to depth, the stenotopic forms *Caulerpa racemosa peltata*, *Caulerpa racemosa racemosa* y *Lithothamnion* sp. occurred only at sites in 3 m depth, where as *Lobophora variegata* was recorded only at 10 m depth. *Halimeda opuntia*, *H. discoidea*, *Dictyota* sp.1, and *Jania adhaerens* showed a quite homogenous distribution, so that these species can be regarded as eurytopic.

Key words: San Bernardo archipelago, macroalgal, stenotopic, eurytopic, benthic, vulcanism, plutonism.

INTRODUCCIÓN

Las macroalgas bentónicas de complejos arrecifales son un elemento estructural básico y algunas veces dominante (Bula-Meyer, 1986). Tales algas son responsables hasta de un tercio de la producción primaria bentónica (Wanders, 1976, en Díaz-Pulido y Rojas, 1992) que, a través de excretas, pasan a formar materia orgánica disuelta, utilizable por microorganismos. Los ciclos de vida cortos y las respuestas rápidas a perturbaciones de los miembros de esta comunidad resaltan su importancia, pues permiten detectar alteraciones ambientales (Frithsen y Holland, 1992). La comunidad macroalgal desempeña un papel esencial en el sistema arrecifal, al punto que suministra información fundamental sobre el estado, el funcionamiento y los cambios que se operan en éste (Márquez y Guillot, 1983; Flórez y Patiño, 1993).

El archipiélago de San Bernardo es una de las zonas coralinas menos estudiadas del Caribe colombiano. No obstante en ella se han registrado algunos cambios, no documentados aún científicamente, pero similares a los que se han registrado en otros arrecifes del Caribe. Ramírez (1990) revela aumento en la cobertura de coral muerto como índice del deterioro de los arrecifes de la zona. Registra, además, 20 grupos taxonómicos de macroalgas relacionados con la comunidad arrecifal y la de pastos marinos. Borrero y Ramírez (1992) integran la información de años anteriores del sector y hacen una estimación general de la estructura de la comunidad vegetal para el archipiélago.

Los trabajos relacionados hacen énfasis en el incremento del coral muerto y lo atribuyen a la sedimentación. Sin embargo, hasta el momento no

se ha realizado una caracterización sistemática ni se han establecido los promedios para variables fisicoquímicas del área. El presente es el primer estudio de la comunidad macroalgal asociada exclusivamente a áreas arrecifales coralinas en el archipiélago de San Bernardo. Caracteriza, así mismo, algunas variables ambientales (nutrientes y sedimentación) de la zona.

Área de estudio

El archipiélago de San Bernardo está situado en el Caribe colombiano a los 9° 45' N y 75° 50' O (figura 1). El archipiélago es un extenso bajo de arrecifes coralinos interrumpidos por praderas de fanerógamas marinas, algas, zonas fangosas y arenosas, que se extienden desde las costas continentales hasta 27 km mar adentro. Está conformado por ocho islas naturales originadas por vulcanismo y plutonismo de lodo, y un islote semiartificial sobre el que habita el 95% de la población y ocupa un área de 413 km² (Duque y Gómez, 1983). Vermette (1985) define la zona del golfo de Morrosquillo como deltaica, pues recibe sedimentos del río Sinú.

Borrero y Ramírez (1992) reconocen cuatro épocas climáticas: seca, de enero a marzo; transición a húmeda, de abril a agosto; húmeda, de septiembre a noviembre; y transición a seca, en diciembre. La zona se caracteriza por una estación húmeda en la que ocurren los más importantes aportes de sedimentos debido al efecto de la contracorriente Colombia. Ésta coincide con un periodo de vientos suaves y mayor calma, mientras que los caudales bajos ocurren simultáneamente con los vientos alisios fuertes del noroeste (Robertson, 1989).

Paea identificar plenamente los grupos fueron recolectados algunos ejemplares de las especies presentes, las cuales se preservaron en formol al 4% con glicerina y se analizaron posteriormente en el laboratorio (Littler *et al.*, 1989; Humman, 1989). Los datos de los transectos se agruparon inicialmente en porcentajes de cobertura de sustrato (CSX) y porcentajes de cobertura relativa (CRX) de acuerdo con las siguientes expresiones:

- CSX = número de eslabones de cada taxa / 720 eslabones
- CRX = número de eslabones de cada taxa / total de eslabones ocupados por algas

Las características de la comunidad estudiada se definieron mediante índices de riqueza de Margalef y dominancia y diversidad de Simpson. Así mismo, se realizaron análisis de clasificación normal de densidades, con ayuda del programa estadístico CLUSTER, el cual representa los valores en histogramas, con el índice de disimilaridad de Bray y Curtis, el cual permite establecer el grado de asociación entre grupos o especies de macroalgas. El análisis estadístico de similitudes entre los componentes biológicos de las estaciones consideradas se realizó mediante ordenaciones multivariadas NMDS (escalamiento multidimensional no métrico).

Variabes físicoquímicas. Las concentraciones de nitritos, nitratos, amonio, fosfatos y silicatos se determinaron para intentar verificar si existía o no una homogeneidad a nivel de las aguas del golfo de Morrosquillo, que pudiera influir en el desarrollo algal. De esta manera, las evaluaciones se realizaron a una profundidad estándar de 5 m en los costados de sotavento y barlovento de Ceycén (la isla más cercana al continente), Tintipán (la más retirada) e isla Mangles (que se encuentra en el centro del archipiélago). La temperatura se midió con un termómetro de columna de alcohol de escala 0 a 50 °C, y la sedimentación por medio de trampas (bloques de cemento de 25 x 25 x 15 cm con un tubo fijo de PVC de 30 cm de altura y 6 cm de diámetro) para estimar la tasa de sedimento resuspendido por área (Díaz *et al.*, 1995).

Las variables físicoquímicas se analizaron mediante componentes principales, ordenando las variables en forma gráfica junto con las coordenadas de las estaciones de muestreo en un modelo tipo "Biplot". El objetivo de este procedimiento es reducir un espacio multivariado a dos dimensiones (Pla, 1986) y determinar posibles relaciones entre éstas.

RESULTADOS

Las 33 especies de macroalgas registradas durante el premuestreo aparecen en la tabla 1, de las cuales 18 pertenecen a las Chlorophyta, 4 a las Phaeophyta y 11 a las Rhodophyta. La posterior evaluación en transectos solamente permitió registrar 18 especies. Los valores de agregación o sociabilidad (Braun-Blanquet, 1979) indican el modo de agrupación de cada una de las especies y la fidelidad (Szafer y Pawlowsky, 1976). Las especies que presentaron grado de fidelidad alto con respecto a áreas coralinas fueron pocas.

La cobertura macroalgal relativa promedio fue de 37%, con un valor mayor en la zona de sotavento (39%) y 3% menos que en barlovento (36%). El grupo dominante fue Chlorophyta con 25% de cobertura, seguido de Phaeophyta (6%), Rhodophyta (4%) y algas filamentosas (2%), mientras que *Halimeda opuntia* dominó en ambos costados.

La composición de los grupos de algas del archipiélago de San Bernardo permite establecer cuatro grupos, de acuerdo con el NMDS (figura 2):

I. El costado norte de las islas Ceycén, Tintipán, Panda y Mangles y el sur de Ceycén, Tintipán y Panda. Este grupo caracteriza al archipiélago a partir de condiciones físicas y biológicas similares, tales como un mejor desarrollo coralino, en relación con el porcentaje de cobertura coralina, además de altos porcentajes de cobertura macroalgal.

II. Islas Múcura y Maravilla, con porcentajes reducidos de cobertura algal y con grandes extensiones de praderas de *Thalassia*, que desde la playa se extienden hasta una profundidad aproximada de 5 m.

Tabla 1. Valores de sociabilidad (Braun-Blanquet, 1979) y fidelidad (Szafer y Pawlowski, 1976) en grupos algales del archipiélago de San Bernardo en transectos a 3, 6 y 10 m de profundidad entre agosto de 1994 y mayo de 1995

Grupos algales	Sociabilidad	Fidelidad
CHLOROPHYTA	5	2
<i>Halimeda opuntia</i> *	3	3
<i>H. discoidea</i> *	2	4
<i>H. incrassata</i> *	1	1
<i>H. monile</i>	1	1
<i>H. goreauii</i>	1	3
<i>Ventricaria ventricosa</i> *	1	3
<i>Dictyosphaeria cavernosa</i> *	4	4
<i>Caulerpa racemosa racemosa</i> *	4	4
<i>C. racemosa peltata</i> *	2	3
<i>C. racemosa macrophysa</i>	1	4
<i>C. mexicana</i>	1	4
<i>C. sertularioides</i>	1	4
<i>Udotea flabellum</i>	1	4
<i>U. occidentalis</i>	1	3
<i>Rhipocephalus phoenix</i>	1	3
<i>Penicillus capitatus</i>	2	3
<i>Bryopsis</i> sp.*	2	3
PHAEOPHYTA	4	2
<i>Dictyota</i> sp. 1*	3	2
<i>D. ciliolata</i> *	5	3
<i>D. sp. 2</i> *	3	4
<i>Lobophora variegata</i> *	4	5
<i>Rhodophyta</i>	1	3
<i>Amphiroa tribulus</i> *	1	3
<i>A. fragilissima</i> *	2	2
<i>A. rigida</i> *	5	5
<i>Jania adhaerens</i> *	3	2
<i>Tricleocarpa oblongata</i> *	5	5
<i>Lithothamnion</i> sp.*	5	4
<i>Lithophyllum</i> sp.*	3	3
<i>Porolithon</i> sp.*	3	3
<i>Laurencia papillosa</i>	1	3
<i>Hypnea musciformis</i>	3	3
<i>Polysiphonia</i> sp.*	3	3

* Especies de macroalgas registradas en el muestreo.

III. Isla Palma, donde *Porolithon* sp. es exclusiva.

IV. Mangles Sur, donde *Tricleocarpa oblongata* es especie exclusiva.

Las coberturas algales relativas por isla fueron de 47% en Tintipán, 38% en Ceycén, 36% en Mangles, 31% en Palma 31%, 9% en Maravilla y 7% en

Múcura. Se identificó un grupo funcional constante en el archipiélago, caracterizado por *Halimeda opuntia*, *H. discoidea*, *Dictyota* sp.1 y *Jania adhaerens*.

En el gradiente de profundidad no hay diferencias estadísticas significativas, con relación a la composición macroalgal (ft:3.40; fc:076). Sin

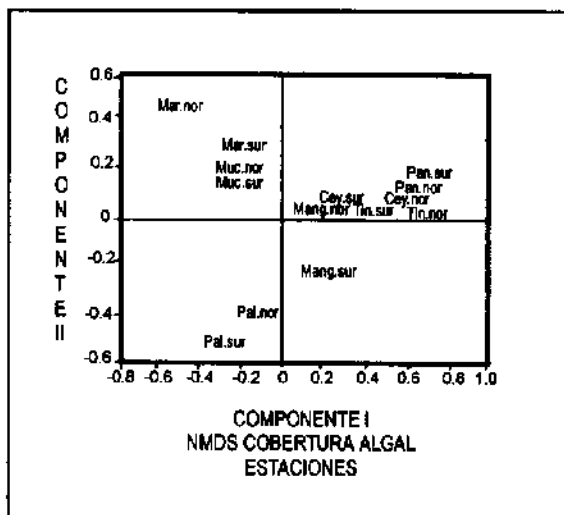


Figura 2. NMDS (Escala Multidimensional no Métrica) de coberturas algales, diferenciación de grupos ecológicos. Archipiélago de San Bernardo durante agosto de 1994 y mayo de 1995 (Cey.sur: Ceycén sur; Pan.sur: Panda sur; Pan.nor: Panda norte; Cey.nor: Ceycén norte; Mang.nor: Mangle norte; Tin.Sur: Tintipán norte; Mang.sur: Mangle sur; Pal.nor: Palma norte; Pal.sur: Palma sur; Mar.nor: Maravilla norte; Mar. sur: Maravilla sur; Muc.nor: Múcura norte; Muc.sur: Múcura sur

por transecto en el tiempo en los diez primeros metros de profundidad. Sin embargo, alrededor de los parches arrecifales, más frecuentemente a sotavento, durante octubre y noviembre se acumularon fragmentos de hojas de *Thalassia*, acompañadas de *Dictyota* sp. 1 y *Ventricaria ventricosa* en todos los tamaños, pero con predominio de individuos de 3 cm de diámetro. En esta época climática húmeda las corrientes del suroeste se manifiestan por el transporte de *Thalassia*.

Las variables fisicoquímicas medidas en el archipiélago resultaron bastante homogéneas (tabla 2). La sedimentación del archipiélago es de tipo lodoso con bajos contenidos de carbonato de calcio (menores del 75%) y de arenas, entre las que predominan las finas y muy finas, según Wenworth (1922).

En el ecotono entre arrecifes coralinos y praderas de pastos marinos (principalmente *Thalassia*) se observaron especies psamofílicas (*Penicillus* sp., *Udotea* sp.), *Halimeda opuntia* y la mayoría de las *Caulerpa* (*C. racemosa macrophysa*, *C. mexicana*, *C. cupressoides*). Por esta razón algunas no están incluidas en la evaluación cuantitativa. Conviene recordar que la comunidad de fanerógamas marinas constituye el ecosistema bentónico más extenso y representativo del archipiélago de San Bernardo.

embargo, se presentan algas exclusivas, distinguiéndose tres grupos taxonómicos estenotópicos a 3 m de profundidad: *Caulerpa racemosa racemosa*, *C. racemosa peltata* y la coralinácea *costrosa Lithothamnion* sp.

Al parecer, la cobertura o el número de especies de la comunidad de macroalgas no fluctúa notablemente

Tabla 2. Valores fisicoquímicos máximos y mínimos en épocas climáticas (mg/l) en aguas del archipiélago de San Bernardo entre agosto de 1994 y mayo de 1995

Época climática	NH ₄	NO ₂	NO ₃	PO ₄	SiO ₂	T°C	S
Húmeda							
Máxima	6.06	0.50	2.33	1.30	21.40	30	34
Mínima	0.03	0.01	0.15	0.03	4.90	28	31
Promedio	2.15	0.20	0.94	0.32	10.10	29	33
Transición a seca							
Máxima	6.47	1.61	3.35	0.44	6.57	30	35
Mínima	2.88	1.41	2.65	0.03	3.07	29	33
Promedio	5.21	1.50	2.99	0.20	4.45	29	34
Seca							
Máxima	10.4	0.76	4.36	0.80	15.9	32	38
Mínima	0.76	0.01	0.05	0.03	0.10	27	34
Promedio	3.41	0.29	0.68	0.17	2.70	29	36
Transición a húmeda							
Máxima	13.2	0.41	2.65	0.59	4.00	28	35
Mínima	0.76	0.03	0.25	0.03	0.29	26	29
Promedio	5.50	0.18	1.24	0.21	1.18	27	32

DISCUSIÓN

Es probable que la dominancia del grupo Chlorophyta se deba a su adaptación a altas intensidades lumínicas (Dawes, 1981), ya que la evaluación fue realizada en los primeros 10 m de profundidad y en aguas donde se presume cierto grado de eutroficación (NO_2 0.51 $\mu\text{g at/l}$, NO_3 1.43 $\mu\text{g at/l}$ y PO_4 0.23 $\mu\text{g at/l}$), aunque también puede presumirse su mejor respuesta al herbivorismo.

En el grupo de algas filamentosas no se determinó desarrollo masivo ya que la evaluación empleada tiende a subestimar tallas inferiores a 1 cm de longitud. Esto podría implicar que el valor de cobertura determinado para este grupo no sea necesariamente comparable con los demás resultados. Sin embargo se debe resaltar la importancia de estas algas en arrecifes mediana y altamente afectados por eutroficación y demás problemas ambientales (Díaz *et al.*, 1992; Littler y Littler, 1984).

La preeminencia de especies de estrategia tipo "K" en el grupo funcional que prevalece en el archipiélago (caracterizado por *Halimeda opuntia*, *H. discoidea*, *Dictyota* sp. 1 y *Jania adhaerens*), puede ser consecuencia de condiciones ambientales altamente homogéneas.

La estructura de las formaciones arrecifales de las islas de San Bernardo es clara y definida para cada costado (norte o barlovento y sur o sotavento (Ramírez y Viña, 1991). Se presume entonces que, igualmente, la estructura de la comunidad macroalgal se relaciona con la de la formación arrecifal correspondiente. En este sentido se dan diferencias biológicas en la presencia de especies estenotópicas: en sotavento *Caulerpa racemosa racemosa* y *Tricleocarpa oblongata*, mientras que en barlovento *Porolithon* sp., *Lithothamnion* sp., *Caulerpa racemosa peltata*, *Amphiroa rigida* y *Lobophora variegata*. Sin embargo las diferencias en cobertura no fueron estadísticamente significativas (ft:5.99; fc: 027).

Las comunidades de sotavento y barlovento difieren en composición, aunque un número importante de

elementos son comunes, reflejando la naturaleza de cada una. Por ejemplo en sotavento el crecimiento y el desarrollo de *Caulerpa racemosa*, caracterizada por un elevado polimorfismo propio de sustrato rocoso-arenoso (cita), resultan favorecidos por la gran dinámica de las aguas, la alta turbulencia que se da consecuentemente y, presumiblemente, el grado de herbivorismo que allí se da. Además, en este mismo costado aparece *Tricleocarpa oblongata*, que requiere baja intensidad de luz, la cual resulta de la turbulencia antes mencionada (Díaz-Piferrer, 1972; Dawes, 1981).

En barlovento cuatro especies son exclusivas: tres Rhodophyta (*Amphiroa rigida*, *Lithothamnion* sp. y *Porolithon* sp.) y de *Lobophora variegata* (Phaeophyta). Del grupo Rhodophyta dos son costrosas y, según Johansen (1981) y Celis (1988), sus patrones de distribución están relacionados con el tipo de sustrato, la temperatura y la acción de las olas. La presencia de *Porolithon* sp. y *Lithothamnion* sp. resulta favorecida por la disponibilidad de sustrato para formas calcáreas, a diferencia de sotavento, donde se evidencian arenas. La forma costrosa de *Lobophora variegata* se encuentra tapizando típicamente paredes y bordes arrecifales exclusivas de barlovento, mientras que el desarrollo coralino a sotavento de la mayor parte del archipiélago se da a manera de parches.

En el gradiente vertical se observan diferencias biológicas estadísticamente no significativas. Algunas especies parecen exclusivas para cada profundidad: en los primeros 3 m, *Lithothamnion* sp. de barlovento, donde las aguas son más claras y tranquilas, sugiere cierta adaptación a elevadas intensidades lumínicas (Dawes, 1981).

Para los 6 m de profundidad la cobertura de algas es mayor, con predominio de Chlorophyta, mientras que a 10 m se encuentra la forma foliosa de *Lobophora variegata*, que crece típicamente tapizando paredes y bordes arrecifales, a bajas intensidades lumínicas (Ruyter van Steveninck y Breeman, 1987), posibles solamente a profundidades mayores.

Los valores de variables fisicoquímicas aquí determinados (tabla 2) corroboran las determinaciones

que hizo el CIOH (1990) desde 1987: las condiciones oceanográficas del golfo de Morrosquillo a diferentes profundidades (0, 10, 20 m) son muy homogéneas, tanto en la columna de agua como espacialmente. En época húmeda los aportes continentales del río Sinú y de otros afluentes del golfo ejercen cierto efecto perturbador, pero el resto del año hay estabilidad. Las concentraciones de los nutrientes permitieron caracterizar las aguas como eutrofizadas con valores de fosfatos $> 0.2 \mu\text{g at/l}$ (NO_2 $0.51 \mu\text{g at/l}$, NO_3 $1.43 \mu\text{g at/l}$ y PO_4 $0.23 \mu\text{g at/l}$) (Davies, 1990, en Alvarado y Corchuelo, 1992).

Estos valores de fosfatos no sólo son propios de la época húmeda, cuando es mayor y evidente la

influencia de aguas continentales sobre el archipiélago, sino también en épocas secas. Esto puede deberse a la actividad camaronera creciente cerca de las islas, así como a las aguas que drena una arrocera de reciente establecimiento en la zona.

Los sedimentos, caracterizados por bajos contenidos de carbonato de calcio, insinúan un origen continental. El aumento de la tasa de sedimentación ($0.45 \text{ cm}^2 \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) y del contenido de carbonatos durante la época seca (tabla 3), probablemente se debió a que el archipiélago difracta la corriente del norte (Molina, 1993), aumentando la turbulencia en los primeros metros de la columna de agua y promoviendo la resuspensión del sedimento.

Tabla 3. Porcentajes de calcio y tipos de sedimento submarino en diferentes épocas climáticas del archipiélago de San Bernardo entre agosto de 1994 y mayo de 1995

Época climática	CaCO ₃	Lodos	Arenas	A.M.F	A.F	A.M.	A.G.
Lluvias	36.95	84.26	15.67	60.10	5.80	1.71	2.14
Transición a seca	35.18	78.54	21.40	8.71	9.22	1.44	2.11
Seca	56.24	50.68	13.41	18.60	17.68	7.43	6.53
Transición a lluvias	34.76	90.01	19.07	4.98	3.18	0.83	1.05
Promedio	40.78	75.87	17.38	23.07	8.97	2.85	2.70

A.M.F: arenas muy finas

A.F: arenas finas

A.M.: arenas medias

A.G.: arenas gruesas

La cobertura de las algas es comparativamente alta (39%), semejante a los registros después de la mortandad masiva del erizo *Diadema antillarum* en los arrecifes del Caribe (Lessios et al., 1984; Hughes et al., 1985). El establecimiento masivo y el desarrollo evidente de las macroalgas se atribuyen a la degradación progresiva que han venido sufriendo las áreas arrecifales coralinas por efectos de la sedimentación (Borrero y Ramírez, 1992), así como por el enriquecimiento de nutrientes (Díaz et al., 1995) y la disminución en las poblaciones de herbívoros como *Strombus gigas*, *Mithrax spinosissimus*, *Diadema antillarum* y peces de la familia Scaridae y Acanthuridae.

La cobertura algal se incrementó notablemente con relación al registro de Ramírez (1990) para la zona, quien estimó 27% en promedio. Al parecer la algas

tienden a cubrir cada vez más área en todos los arrecifes del Caribe y parece que es una respuesta a las profundas y drásticas perturbaciones biológicas de los últimos años en sistemas coralinos del Caribe (Bula-Meyer, 1993; Cook et al., 1993; Cortés et al., 1993; Garzón-Ferreira y Kielman, 1993).

Al inicio del proceso de desaparición de *Diadema antillarum* se registraron coberturas macroalgales bajas en ciertas áreas del Caribe, como los arrecifes de Jamaica y Venezuela (0.7-2.8% y 12.8%, respectivamente. Liddell y Ohlhorst, 1988, en Díaz et al., 1995). Sin embargo estudios más recientes en arrecifes del Caribe colombiano, con promedios de cobertura de macroalgas, muestran valores altos similares: 26% para San Andrés (Díaz et al., 1992) y 29% para las islas del Rosario (Alvarado et al., 1986; Sarmiento et al., 1989).

CONCLUSIONES

Las dieciocho especies halladas cubren 25% del área estudiada. La comunidad macroalgal del archipiélago está definida básicamente por las euritópicas *Halimeda opuntia* (especie más frecuente), *H. discoidea*, *Dictyota* sp. 1 y *Jania adhaerens*, que se distribuyen homogéneamente. El género *Halimeda*, con estrategia "K" y adaptada a condiciones estables, predomina en el archipiélago como consecuencia de la homogeneidad del ambiente, la cual no permitió evidenciar respuestas estacionales durante el tiempo de estudio.

Chlorophyta es el grupo más abundante en el archipiélago, mientras que Phaeophyta cubre 6% del área estudiada y, de cuatro especies identificadas, *Dictyota* sp. 1 es la más frecuente. De las siete especies de Rhodophyta, que cubren 4%, *Jania adhaerens* abarca mayor cobertura. El grupo filamentosas, constituido por *Bryopsis* sp. y *Polysiphonia* sp., cubre 2% del área estudiada.

La estructura y la composición de la comunidad macroalgal fue similar en sotavento y barlovento, con coberturas respectivas de 39 y 36% y promedio de 37%. Las estenotópicas *Caulerpa racemosa racemosa* y *Tricleocarpa oblongata* se presentan en sotavento, mientras que *Caulerpa racemosa peltata*, *Lithothamnion* sp., *Lobophora variegata*, *Amphiroa*

rigida y *Porolithon* sp. se hallaron preferentemente a barlovento.

Las estenotópicas a 3 m de profundidad del gradiente vertical son *Caulerpa racemosa peltata*, *C. racemosa racemosa* y *Lithothamnion* sp., y a 10 m *Lobophora variegata*.

La tasa sedimentación ($0.7 \text{ cm}^2 \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) y el enriquecimiento con nutrientes (NO_2 $0.51 \mu\text{g at/l}$, NO_3 $1.43 \mu\text{g at/l}$ y PO_4 $0.23 \mu\text{g at/l}$), afectan a la mayoría de las comunidades arrecifales coralinas del archipiélago de San Bernardo y favorecen el establecimiento y desarrollo de la comunidad de algas foliosas caracterizada por *Halimeda opuntia* y *Dictyota* sp1.).

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias a la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL) y al personal del FSU en Coveñas. Extendemos nuestros agradecimientos al biólogo marino Fernando Flechas Hernández por el constante apoyo académico y personal, al Museo del Mar, a la bióloga marina Elvira María Alvarado Ch., al Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas de la Armada Nacional (CIOH) y al químico Jesús Garay.

REFERENCIAS

- Agardh CA. 1965. Systema Algarum. Editio Anastatica Amstelodami. Asher & Co. 312 p.
- Alvarado EM, Duque F, Flórez L, Ramírez R. 1986. Evaluación cualitativa de los arrecifes coralinos de las islas del Rosario. Cartagena, Colombia. *Bol Ecotropi Ecos Trop* 15:1-30.
- Alvarado E, Corchuelo C. 1992. Los nutrientes, la temperatura y la salinidad provenientes del Canal del Dique, como factores de deterioro en el Parque Nacional Corales del Rosario. Cartagena. Vol. I, pp. 277-286. En: *Memorias del VII Seminario de Ciencias y Tecnologías del Mar y Congreso Centroamericano y del Caribe*. Santa Marta, 1992.
- Borrero I, Ramírez A. 1992. Análisis estadístico de la información oceanográfica del golfo de Morrosquillo. ECOPETROL-DCC. Orden de ejecución 5-2201-0125. Santafé de Bogotá, DC. 102 p.
- Braun-Blanquet J. 1979. Fitosociología: bases para el estudio de las comunidades vegetales. Madrid.
- Bula-Meyer G. 1986. Las macroalgas de los arrecifes coralinos de las islas del Rosario, Costa Caribe de Colombia. *Bol Ecotropica* (14) 3:20.
- Bula-Meyer G. 1994. Notas sobre *Dictyota pfaffii* y *D. humifusa* (Dictyotales: Phaeophyta). *An Inst Invest Mar Punta Betón* (23) 177-181. Santa Marta, Colombia.

- CARICOMP.** 1990. Manual of methods for mapping and monitoring of physical and biological parameters in the coastal zone of the Caribbean (Caribbean Coastal Marine Productivity) Level 1, 26 p.
- Celis A.** 1988. Las algas coralináceas (Corallinales) del Parque Natural Corales del Rosario. Cartagena. Tesis de grado UJTL (Biología Marina), 205 p.
- CIOH.** 1990. Monitoreo de condiciones oceanográficas y nivel de contaminación del golfo de Morrosquillo. Contrato ECOPEPETROL DCC-0053-88. Cartagena, Colombia. 102 p.
- Cook CB, Dodge RE, Smith SR.** 1993. Fifty years of impacts on coral reefs in Bermuda. *En: Univ. of Miami. Global Aspects of Coral Reefs: F8-F14.*
- Cortés J.** 1993. A reef under siltation stress: Cahuita, Costa Rica. *Bull Mar Sci* 36(2):339-356.
- Dawes C.** 1981. Botánica Marina. Edit. Limusa. México. 672 p.
- Díaz G, Rojas M.** 1992. Las comunidades del Bajo Arrecifal Profundo Imelda, isla Barú, Caribe colombiano. III. Estructura de la comunidad macroalgal. pp. 304-315. *En: Memorias del VIII Seminario de Ciencias y Tecnologías del Mar y Congreso Centroamericano y del Caribe* (8:1992. Santa Marta).
- Díaz J, Garzón J, Zea S.** 1992. Evaluación del estado actual del arrecife coralino de la isla de San Andrés. Informe final No. 33. *An Inst Invest Mar Punta Betín.* Santa Marta.
- Díaz J, Garzón J, Zea S.** 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 Álvarez Lleras. Santafé de Bogotá. No. 7. 150 p.
- Díaz-Piferrer M.** 1972. Las algas superiores y la fanerógamas marinas. Pp. 273-307. *En: Ecología marina.* Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Edit. Dossats. Caracas.
- Duque F, Gómez C.** 1983. El archipiélago de San Bernardo y su fauna íctica. Bogotá. Tesis de grado UJTL (Biología Marina), 150 p.
- Flórez F, Patiño F.** 1993. Estudio ecológico del golfo de Morrosquillo. Universidad Nacional de Colombia. Fondo FEN. Colombia. 109 p.
- Frinthsen J, Holland A.** 1992. Benthic communities as indicators of ecosystem condition. *En: Ecological indicators.* Chapman and Hall. Vol. 1, pp. 459-460.
- Garzón-Ferreira J, Kielman M.** 1993. Extensive mortality of corals in the Colombian Caribbean during the last two decades. *En: Univ. of Miami. Global Aspects Coral Reefs: A15-A21.*
- Johansen HW.** 1981. Coralline algae, a first synthesis. CRC Press, Inc. Boca Ratón, Florida. 239 p.
- Hughes TP, Keller BD, Jackson JBC, Boyle MJ.** 1985. Mass mortality of the echinoid *Diadema antillarum* Philippi in Jamaica. *Bull Mar Sci* 36(2):377-384.
- Humman P.** 1989. Reef Coral Identification. Florida, USA. 70 p.
- Lessios HA, Robertson DR, Cubit JD.** 1984. Spread of *Diadema* mass mortality through the Caribbean. *Science* 226:335-337.
- Littler D, Littler M.** 1989. Marine plants of the Caribbean. Smithsonian Institution Press Washington, DC, 263 p.
- Marshall W.** 1987. *Biología de las algas. Enfoque fisiológico.* Limusa, SA. CV. 236 p.
- Márquez G, Guillot G.** 1983. La vegetación marina del Parque Nacional Tayrona, Costa Caribe Colombiana. II. Tipos de vegetación. *An Inst Invest Mar Punta Betín* (13):17-51. Santa Marta.
- Molina A.** 1993. Dinámica marina y sus efectos sobre la geomorfología del golfo de Morrosquillo. Boletín Científico CIOH. Cartagena. 15:93-112.
- Pla IE.** 1986. Análisis multivariados: método de componentes principales. Monografía científica número 27, serie Matemáticas, OEA. Washington, DC. 78 p.
- Ramírez A.** 1990. Monitoreo de los ecosistemas coralinos del golfo de Morrosquillo y el archipiélago de San Bernardo. Fase II. ECOPEPETROL-DCC. 8742.08 RAM. Santafé de Bogotá, DC. 89 p.

- Ramírez A, Viña G.** 1991. Estructura de las formaciones coralinas de las islas de San Bernardo, Colombia. *Ecotrópica*, Suplemento 1:58-60.
- Robertson K.** 1989. Evolución reciente del delta del río Sinú, Colombia. *Bull Inst Geol du Bassin D' Aquitaine* 45:305-312.
- Ruyter van Steveninck ED, Breeman AM.** 1987. Deep water vegetations of *Lobophora variegata* (Phaeophyceae) in the coral reefs of Curacao: population dynamics in relation to mass mortality of the sea urchin *Diadema antillarum*. *Mar Ecol Prog Ser* 36:81-90.
- Sarmiento E, Flechas F, Alvis G.** 1989. Evaluación cuantitativa del estado actual de las especies coralinas del Parque Nacional Natural Corales del Rosario, Cartagena, Colombia. Tesis de Biología Marina. Univ. Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 144 p.
- Schnetter R, Hornig I.** 1992. The genus *Dictyota* (PHAEOPHYTA) in the North Atlantic. ii. Key to species. *Nova Hedwigia* 54(3-4):397-402.
- Vernette G.** 1985. La plate-forme continentale caraïbe de Colombie. Importance du diapirisme argileux sur la morphologie et la sédimentation. These de doctorat d'Etat, Univ. Bordeaux I, 487 p.
- Wentworth CK.** 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Geology* (30):377-3.