

## DESCRIPCIÓN PRELIMINAR DEL FITOPLANCTON EN SEIS ARRECIFES CORALINOS DEL PARQUE NACIONAL ARCHIPIÉLAGO DE LOS ROQUES

Gabriela Pérez-Castresana<sup>1\*</sup>, Estrella Villamizar<sup>2</sup>, Ramón Varela<sup>3</sup> y  
Yuruaní Fuentes<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Oriente, Núcleo Nueva Esparta. Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar. <sup>2</sup>Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Instituto de Zoología y Ecología Tropical. <sup>3</sup>Fundación La Salle. Estación de Investigaciones Marinas. Isla de Margarita. <sup>4</sup>Universidad de Oriente, Núcleo Nueva Esparta. Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar. \*perezcastresana@yahoo.es

### RESUMEN

El estudio del fitoplancton en el PNALR ha recibido poca atención en comparación con otros aspectos del arrecife. El estudio de estos pequeños productores primarios se justifica no solo porque el fitoplancton es un componente más de estas comunidades y forma parte de la dieta de muchos de los invertebrados bentónicos que la integran, sino que además su estudio es de gran utilidad, ya que constituye un excelente bioindicador pues responden rápidamente a los cambios que ocurren en las masas de agua por procesos naturales o antrópicos. Es por tal motivo que en el 2011 se consideró necesaria la inclusión del estudio del fitoplancton dentro del proyecto "Biodiversidad de los arrecifes del PNALR", con la intención de realizar la caracterización de estas comunidades considerándose las variables: densidad (cel/l), riqueza, composición taxonómica, y porcentaje del nanofitoplancton y microfitoplancton. Los resultados indican que independientemente de las variaciones espaciales en la densidad fitoplanctónica, los valores registrados reflejan la condición oligotrófica de sus aguas, no excediendo las 65.000 cel/l. La comunidad estuvo constituida básicamente por el nanofitoplancton (>60% de la abundancia total) en todas las localidades. El fitoplancton fue relativamente abundante hacia el norte del Archipiélago, en las localidades cercanas a Gran Roque, con una densidad promedio de 57.048 cel/l. Allí las densidades fueron más del doble que las del Sur. Además de estimarse más fitoplancton en el norte, también se observó una mayor cantidad de organismos grandes, tal como diatomeas y cianobacterias filamentosas, lo cual probablemente sea el resultado de aguas más enriquecidas.

**Palabras clave:** Fitoplancton, arrecifes coralinos, Mar Caribe, Los Roques.

### Preliminary description of phytoplankton in six coral reef of Archipelago Los Roques National Park, Venezuela

#### Abstract

The study of phytoplankton in the PNALR has received little attention compared to other aspects of the reef. The study of these small primary producers is justified not only because phytoplankton is a component of these communities and form part of the diet of many benthic invertebrates that comprise it, but further study is useful because it is excellent bioindicator because they respond quickly to changes that occur in water bodies by natural or anthropogenic processes. It is for this reason that in 2011 the inclusion of the study of phytoplankton within the project "Biodiversity of

---

Recibido: marzo 2014

Aceptado: marzo 2015

Compilación "Estudio de la Diversidad Marina del Parque Nacional Archipiélago de Los Roques"

PNALR reefs " was deemed necessary, with the intention of making the characterization of these communities considering the variables: density (cells/l), richness, taxonomic composition, and percentage of nanophytoplankton and microphytoplankton. The results indicate that regardless of the spatial variations in phytoplankton density, the recorded values reflect the oligotrophic condition of the water, not exceeding 65,000 cells/l. The community was composed basically of the nanophytoplankton (> 60 % of the total abundance) in all locations. Phytoplankton was relatively abundant north of the archipelago, in places near Gran Roque, with an average density of 57,048 cells/l. Densities there were more than twice that of the South. In addition, a greater number of larger organisms in the north of the archipelago, such as diatoms and filamentous cyanobacteria, which is probably the result of more enriched waters was also observed.

**Keywords:** Phytoplankton, coral reef, Mar Caribe, Los Roques.

## INTRODUCCIÓN

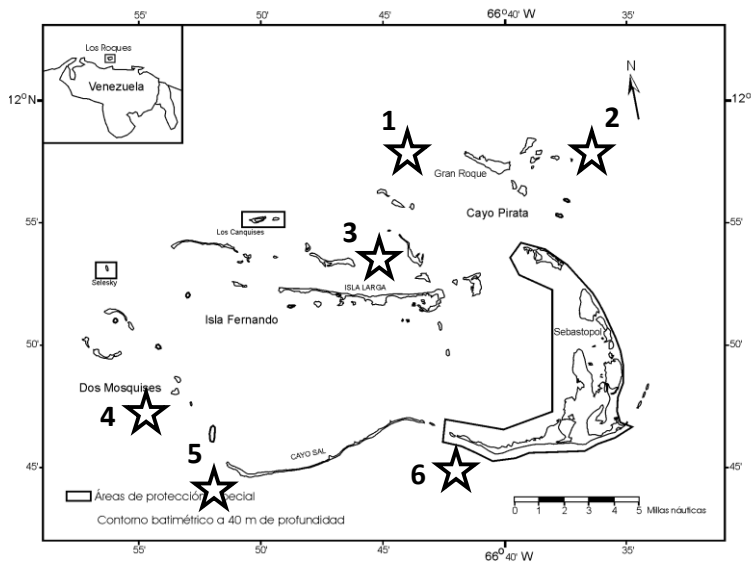
El fitoplancton forma parte de las comunidades de arrecifes al igual que las esponjas, peces, corales, entre otros organismos marinos, sin embargo, su estudio ha recibido poca atención en comparación con otros aspectos del arrecife coralino (Tada *y col.*, 2003). En el Archipiélago de Los Roques apenas se han realizado algunas investigaciones en el área. La mayoría de los trabajos se han enfocado en el estudio de comunidades u organismos bentónicos (Villamizar y Laughlin, 1991; Cróquer *y col.*, 2003; Villamizar *y col.*, 2003; Cróquer *y col.*, 2005a y b; Schweizer *y col.*, 2005; Zubillaga *y col.*, 2005; Villamizar *y col.*, 2008; Cróquer *y col.*, 2010; Bastidas *y col.*, 2012;) y comunidades de peces (Hauschild, 1984; Posada *y col.*, 1988; Ortaz *y col.*, 1996; Cervigón y Alcalá, 1997; Posada *y col.*, 2003). Entre los pocos estudios existentes sobre el fitoplancton u otras variables biológicas relacionadas, tal como la producción primaria, se encuentran los trabajos de González (1989), de Gamboa-Márquez *y col.* (1994) y el de Sánchez (1995), los cuales fueron realizados exclusivamente en uno de los cayos del complejo de arrecife, conocido como Dos Mosquises. Casanova *y col.* (2007) realizaron un estudio más completo a una escala espacial y temporal pero solo consideraron al componente zooplanctónico.

El estudio de estos pequeños productores primarios en los arrecifes coralinos se justifica no solo porque el fitoplancton es un componente más de estas comunidades y forma parte de la dieta de muchos de los invertebrados bentónicos que la integran (Fabricius *y col.*, 1995; Ayukai, 1995; Yahel *y col.*, 1998; Ferrier-Pagès *y col.*, 1998, Ribes *y col.*, 2003, Houbrèque *y col.*, 2004 citados por Patten *y col.*, 2011), sino que además su estudio es de gran utilidad, ya que constituye un bioindicador muy promisorio debido a sus ciclos vitales cortos, y a que refleja las condiciones ambientales pues responden rápidamente a los cambios que pueden ocurrir en las masas de agua por procesos naturales o antrópicos (Jaanus *y col.*, 2009).

Es por tal motivo que en el año 2011 se consideró necesaria la inclusión del componente fitoplanctónico dentro del proyecto “Biodiversidad de los arrecifes del Parque Nacional Archipiélago de Los Roques”, llevándose a cabo el primer estudio descriptivo de estos productores primarios en 6 de los arrecifes monitoreados. Las variables biológicas consideradas para la descripción fueron: densidad (cel/l), riqueza, composición taxonómica, y porcentaje del fitoplancton perteneciente a las dos categorías de tamaños que pueden ser observadas a través de un microscopio de luz visible; estas son, el nanofitoplancton (2-20 micras) y el microfítoplancton (>20 micras).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El muestreo se realizó en agosto del 2011 en las localidades previamente establecidas por el coordinador del proyecto tomando en cuenta los arrecifes coralinos a monitorearse en esa oportunidad (2<sup>da</sup> salida de campo del 2011). Así, las muestras del fitoplancton fueron colectadas en las aguas circundantes a los arrecifes coralinos ubicados en Madrisquí, Noronquí, Dos Mosquises, Boca de Cote, Cayo Sal, y en el Norte de Isla Larga (Figura 1).



**Figura 1.** Mapa del Parque Nacional Archipiélago de Los Roques indicando las localidades de estudio. 1. Noronquí; 2. Madrisquí; 3. Norte de isla Larga; 4. Dos Mosquises; 5. Cayo Sal; 6. Boca de Cote.

En cada una de estas localidades, fueron colectadas al azar 3 muestras (1 litro x muestra) en la superficie del agua, y a 0,50 m de profundidad aproximadamente, las cuales fueron preservadas con una solución de Lugol. Posteriormente, éstas fueron trasladadas a la Estación de Investigaciones Marinas de la Fundación La Salle (EDIMAR) en la isla de Margarita, donde fueron analizadas. En el laboratorio, se dejaron las muestras en reposo por 4 días con el fin de sedimentar el fitoplancton contenido en el agua; luego de este período se extrajo gran parte del sobrenadante, dejando un volumen final de 100 ml. Finalmente con la ayuda de un microscopio de contraste de fases invertido y utilizando cámaras de sedimentación de 25 ml se realizó el análisis cualitativo y cuantitativo del fitoplancton siguiendo la técnica de Utermöhl (Wetzel y Likens, 1991). Además de contar e identificar el fitoplancton hasta la categoría taxonómica posible, se midieron cada uno de los organismos con la ayuda de un ocular calibrado y una reglilla micrométrica, y se realizó un registro fotográfico de la mayoría de los ejemplares observados. Para la identificación se utilizó la guía de identificación de Carmelo R. Tomas (1997) y la de Bérard-Therriault, Poulin y Bossé (1999). En cuanto al procesamiento de los datos, se utilizó el programa *PRIMER V6* y *PERMANOVA add on*, para calcular los índices de Bray-Curtis y visualizar gráficamente las similitudes entre las comunidades del fitoplancton a través de un MDS. Cabe señalar que los datos de las densidades por especie fueron previamente transformados aplicando el Log (n+1).

## RESULTADOS

En el presente estudio se observaron representantes de los siguientes phyla: Bacillariophyta, Pyrrophyta, Cyanophyta, Haptophyta, Euglenophyta, Cryptophyta, Chlorophyta y Heterokontophyta. De todo el fitoplancton analizado, se logró identificar hasta la categoría de especie (Tabla 1) el 27% de los morfotipos observados (57 especies), y un 32% hasta la categoría de género (67). Los géneros en los cuales se incluyeron a estos 67 morfotipos fueron: *Amphora*, *Bacteriastrium*, *Biddulphia*, *Bleakeleya*, *Cocconeis*, *Cerataulus*, *Coscinodiscus*, *Chaetoceros*, *Diploneis*, *Hemiaulus*, *Licmophora*, *Mastogloia*, *Melosira*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Pleurosigma*, *Rhizosolenia*, *Synedra* y *Thalassionema*, pertenecientes al phylum Bacillariophyta (diatomeas); *Alexandrium*, *Amylax*, *Ceratium*, *Gambierdiscus*, *Gonyaulax*, *Gymnodinium*, *Gyrodinium*, *Ostreopsis*, *Polykrikos*, *Protoperidinium* y *Prorocentrum* del phylum Pyrrophyta (dinoflagelados); *Ophiaster*, *Syracosphaera* y *Umbellosphaera* del phylum Haptophyta (cocolitofóridos); *Anabaena*, *Arthrospira*, *Oscillatoria* y *Microcystis* del phylum Cyanophyta (cianobacterias); *Eutreptiella* del phylum Euglenophyta; *Dinobryon* y *Pterosperma* del phylum Heterokontophyta; y *Plagioselmis* del phylum Cryptophyta. Del 40% restante de los morfotipos reconocidos, un 34% se logró discriminar solo

hasta la categoría de phylum, mientras que no se pudo clasificar taxonómicamente un 6% de los morfotipos presentes en las muestras.

**Tabla 1.** Especies del fitoplancton pertenecientes a los diferentes phyla.

<b>Phylum Bacillariophyta</b>	<b>Phylum Pyrrophyta</b>
<i>Chaetoceros affinis</i>	<i>Ceratium lineatum</i>
<i>Chaetoceros curvisectus</i>	<i>Ceratium triceros</i>
<i>Chaetoceros danicus</i>	<i>Ceratium pentagonum</i>
<i>Chaetoceros debilis</i>	<i>Gonyaulax digitale</i>
<i>Chaetoceros didymus</i>	<i>Gonyaulax spinifera</i>
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	<i>Gymnodinium breve</i>
<i>Chaetoceros messanensis</i>	<i>Gymnodinium gracilentum</i>
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	<i>Heterocapsa triquetra</i>
<i>Climacosphenia moniligera</i>	<i>Pronoctiluca pelagica</i>
<i>Corethron hystrix</i>	<i>Oxytoxum variabile</i>
<i>Cylindrotheca closterium</i>	<i>Oxytoxum laticeps</i>
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	<i>Prorocentrum micans</i>
<i>Diploneis weissflogii</i>	<i>Prorocentrum minimum</i>
<i>Entomoneis alata</i>	<i>Prorocentrum gracile</i>
<i>Guinardia flaccida</i>	<i>Prorocentrum lima</i>
<i>Guinardia striata</i>	<i>Prorocentrum mexicanum</i>
<i>Haslea wawrikan</i>	<i>Prorocentrum compressum</i>
<i>Licmophora gracilis</i>	<i>Protoperdinium brevipes</i>
<i>Lioloma pacificum</i>	<i>Protoperdinium pentagonum</i>
<i>Mastogloia rostrata</i>	<i>Scrippsiella trochoidea</i>
<i>Navicula distans</i>	
<i>Nitzschia longissima</i>	<b>Phylum Haptophyta</b>
<i>Plagiotropis lepidoptera</i>	<i>Calciosolenia murrayi</i>
<i>Proboscia alata</i>	<i>Discosphaera tubifera</i>
<i>Pseudo-nitzschia seriat</i>	<i>Emiliana huxleyi</i>
<i>Rhizosolenia calcar-avis</i>	<i>Rhabdosphaera claviger</i>
<i>Rhizosolenia cylindrus</i>	
<i>Rhizosolenia hebetata</i>	<b>Phylum Euglenophyta</b>
<i>Skeletonema costatum</i>	<i>Euglena acusformis</i>
<i>Striatella unipunctata</i>	
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<b>Phylum Heterokontophyta</b>
	<i>Dictyocha fibula</i>

Es preciso señalar que la dificultad en el reconocimiento de los caracteres taxonómicos diagnósticos se debió principalmente al pequeño tamaño que presentó el fitoplancton del área de estudio. En la Figura 2 se aprecia la diferencia de tamaños de dos diatomeas. Como se observa en la foto superior e inferior, apenas se puede apreciar la forma de los organismos pequeños, siendo imposible observar aun con el máximo aumento del microscopio invertido que fue posible usar (200x400x), detalles como, estrías, ornamentos, rafe, flagelos, etc.



**Figura 2.** Fotografías del fitoplancton del Archipiélago de Los Roques. En la foto superior se indican dos diatomeas de tamaños notablemente diferentes. En las fotos inferiores se muestran organismos muy pequeños típicos del lugar, los cuales fueron fotografiados con el máximo aumento del microscopio.

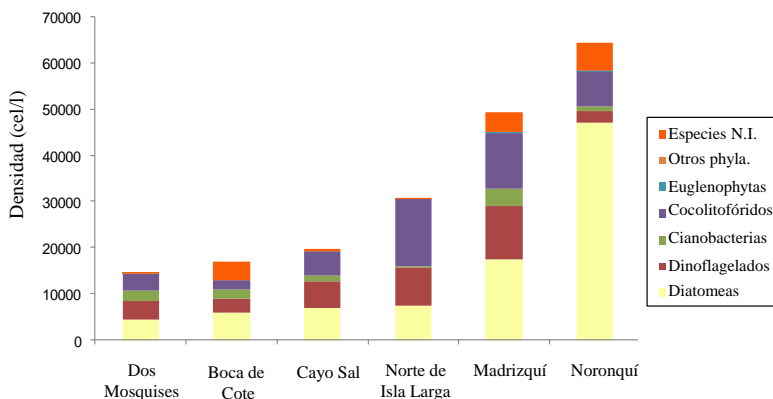
Al comparar la variedad de especies o morfotipos a nivel de grupos del fitoplancton, se concluye que las diatomeas (Bacillariophyta) y los dinoflagelados (Pyrrophyta) fueron los que presentaron una mayor riqueza, aportando respectivamente un 55% y 22%. Tanto las cianobacterias (Cyanophyta), como los cocolitofóridos (Haptophyta) alcanzaron un 6% de la riqueza total; mientras que apenas se observaron especies (1%) del resto de los *phyla* mencionados.

La densidad del fitoplancton osciló entre las 14.925 células/litro y las 64.561 células/litro (Tabla 2). El fitoplancton fue relativamente abundante hacia el norte del Archipiélago, particularmente en las localidades cercanas a Gran Roque: Madrisquí y Noronquí, con una densidad promedio de 57.048 cel/l. Allí las densidades fueron más del doble que las estimadas hacia el Sur del parque, específicamente en Dos Mosquises, Boca de Cote y Cayo Sal, en las cuales se registró una densidad promedio de 17.244 cel/l. En la zona Central del archipiélago la densidad del fitoplancton fue intermedia (30.929 cel/l).

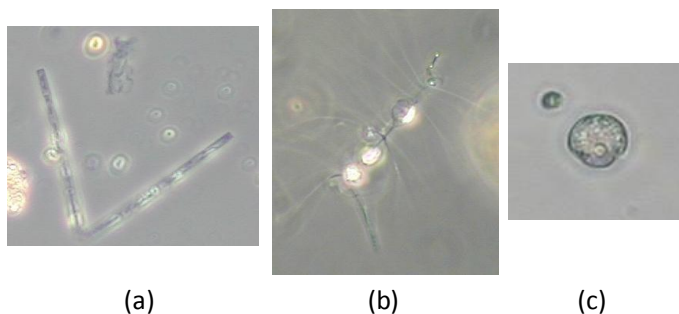
**Tabla 2.** Densidad promedio del fitoplancton (cel/l) por estación

Estaciones	Densidad promedio (cel/l)	Desviación estándar
<i>Dos Mosquises</i>	14.925	6.830
<i>Boca de Cote</i>	17.077	6.677
<i>Cayo Sal</i>	19.615	10.497
<i>Norte de Isla Larga</i>	30.922	7.280
<i>Madrisquí</i>	49.513	9.633
<i>Noronquí</i>	64.561	8.455

La misma tendencia se observó en cuanto al grupo de las diatomeas (Figura 3). Una mayor cantidad fueron registradas hacia el norte del Archipiélago (32.382 cel/l aprox.) y una menor cantidad hacia el sur (5.870 cel/l aprox.). En Madrisquí y Noronquí, este grupo taxonómico fue el más característico dentro de las comunidades, representando un 70% y un 34% de la abundancia total respectivamente. La diatomea *Thalassionema nitzschiodes* (Figura 4) fue la especie dominante en ambas comunidades, representando en promedio un 27% de la abundancia total. En Noronquí, además de *T.nitzschiodes*, otra diatomea del género *Chaetoceros* se destacó por su abundancia y representó el 19% de la abundancia total. En Madrisquí, una especie de dinoflagelado del género *Gymnodinium*, también fue abundante (13% del total). El resto de las especies identificadas presentaron densidades relativas menores al 9%.

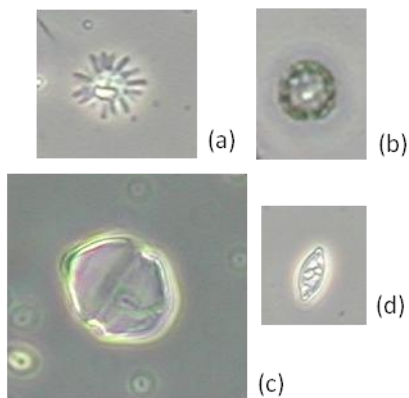


**Figura 3.** Densidad (cel/l) de los distintos grupos del fitoplancton, registrada en cada localidad.



**Figura 4.** Ejemplares del fitoplancton numéricamente dominante en Dos Mosquises y Madrisquí. Diatomeas de la especie *Thalassionema nitzschiodes* (a) y del género *Chaetoceros* (b); y dinoflagelado del género *Gymnodinium* (c).

En la localidad ubicada hacia el centro del parque, los cocolitofóridos (Haptophytas) se destacaron por su abundancia (48%), siendo la especie *Rhabdosphaera claviger* (Figura 5) la más representativa (25%) de toda la comunidad del fitoplancton. El dinoflagelado *Scrippsiella trochoidea* y la diatomea *T.nitzschiodes* también figuraron entre las especies más numerosas (19% en promedio), al igual que el cocolitofórido *Emiliana huxleyi* (13%). En las localidades del sur, una abundancia relativa por el orden del 64% fue lo que representó la sumatoria de las densidades de cuatro especies. Estas fueron *Emiliana huxleyi* (cocolitofórido), *Gymnodinium* sp., una pequeña diatomea pennada menor de 5 micras (Figura 5) y otra especie fitoplanctónica. Estas especies no lograron identificarse debido a la imposibilidad en la apreciación de los caracteres morfológicos. En cuanto a los grupos taxonómicos, se puede afirmar que las diatomeas fueron ligeramente más representativas (aprox. 36%) en relación a los otros grupos del fitoplancton (Figura 3).

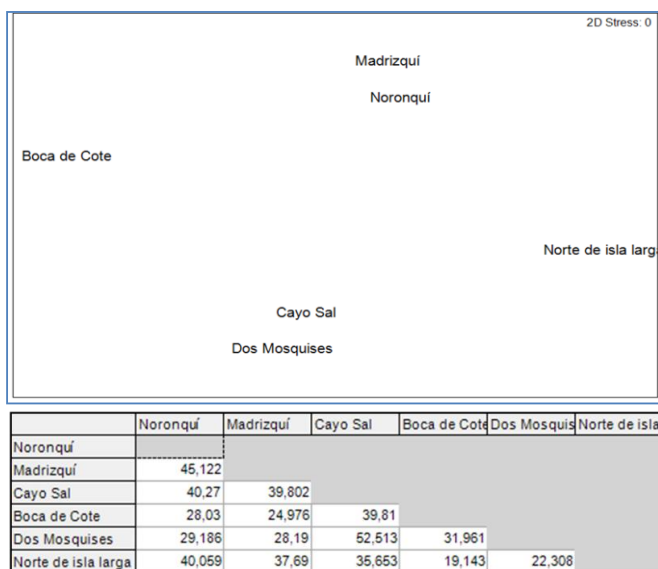


**Figura 5.** Ejemplares del fitoplancton numéricamente dominante en las aguas del Norte de Isla Larga y en las aguas de los cayos del Sur. Cocolitofóridos de la especie *Rhabdosphaera claviger* (a) y *Emiliana Huxleyi* (b); dinoflagelado *Scrippsiella trochoidea* (c); y diatomea pennada (< 5  $\mu\text{m}$ ) no identificada (d).

Al comparar a las comunidades con base en su estructura y composición de especies a través de los índices de Bray-Curtis, se destaca que aun cuando los índices fueron bajos (Figura 6), se encontró una mayor similitud entre las comunidades del fitoplancton presentes en los cayos del norte, Madrisquí y Noronquí, y también entre las comunidades presentes en las aguas de los cayos más próximos ubicados en el sur del parque (Dos Mosquises y Cayo Sal). En el MDS se distinguen estos dos grupos alejados entre sí y alejados de Boca de Cote



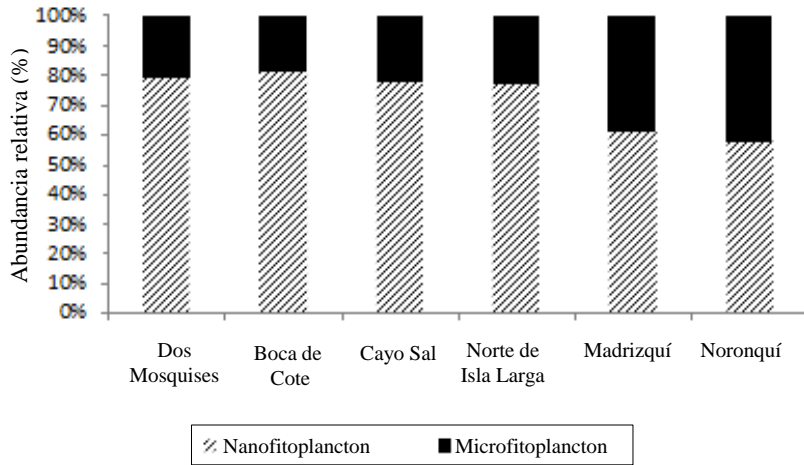
e Isla Larga, los cuales además se encuentran separados entre sí, indicando que la estructura y composición de especies de las comunidades del fitoplancton fueron menos similares.



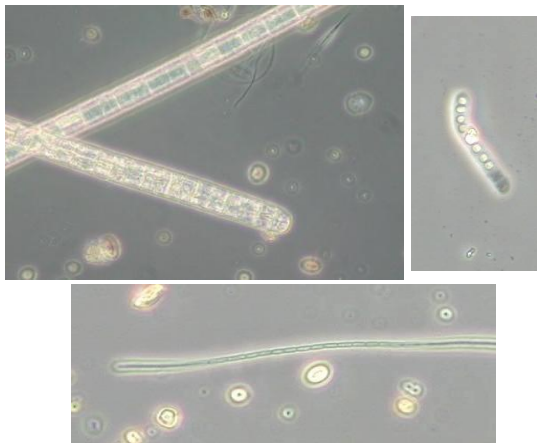
**Figura 6.** Porcentajes de Similitud de Bray-Curtis y MDS.

En cuanto al porcentaje del fitoplancton discriminado en las categorías de tallas: microfitoplancton (>20 µm) y nanofitoplancton (2 - 20 µm) se concluye que la comunidad estuvo constituido básicamente por organismos del nanofitoplancton, representando más del 60% de la abundancia total en todas las estaciones estudiadas (Figura 7).

Cabe señalar que además de estimarse una mayor cantidad del fitoplancton en la zona norte, también se observó una mayor cantidad de organismos de tallas grandes, pertenecientes al microfitoplancton. La abundancia relativa de estos organismos fue en promedio, del 41%, mientras que en las otras localidades fue menor al 23% (Figura 7). En la zona norte, no solo fueron observadas diatomeas relativamente grandes, sino también largas cianobacterias filamentosas del orden Nostocales y Oscillatoriales, particularmente en Madrisquí (Figura 8). Allí, se registraron aproximadamente 614 cianobacterias filamentosas por litro. Esta cifra fue aproximadamente cinco veces mayor que la registrada en el resto de las localidades.



**Figura 7.** Abundancia relativa del fitoplancton (%) de acuerdo a la categoría de talla microfitoplancton (> 20  $\mu\text{m}$ ) y nanofitoplancton (2- 20  $\mu\text{m}$ ).



**Figura 8.** Cianobacterias filamentosas del orden Nostocales y Oscillatoriales.

## DISCUSIÓN

Independientemente de las diferencias espaciales en la densidad del fitoplancton, los valores registrados en las distintas zonas del Archipiélago de Los Roques revelan la condición oligotrófica de sus aguas, no excediendo el máximo las 65.000 células por litro. Casanova *y col.* (2007) señalan que las aguas del archipiélago pueden considerarse como oligotróficas lo cual también se ve reflejado en las bajas densidades del zooplancton. De igual forma González *y col.* (1989) en su estudio en el cayo Dos Mosquises, sostienen que las bajas concentraciones de nutrientes y pigmentos fotosintetizadores, así como los bajos valores de producción primaria permiten afirmar que dichas aguas son de carácter altamente oligotrófico, lo cual es propio de los sistemas de arrecifes coralinos.

Con base en el patrón espacial detectado en el presente estudio, es posible decir que efectivamente las aguas de Dos Mosquises son de carácter altamente oligotrófico, puesto que en dicha localidad se registró la menor densidad fitoplanctónica (14.925 cel/l), la cual fue aproximadamente 3 veces menor que la densidad registrada en Madrisquí y Noronquí.

Cróquer *y col.* (2010) mencionan que la baja cobertura de coral vivo en Madrisquí en relación a Dos Mosquises, puede ser una consecuencia del evento epizoótico (Plaga Blanca Tipo II) que afectó extensivamente a los corales pétreos de esa localidad durante años previos; sin embargo; no descartan que la eutrofización, pueda estar afectando a los corales en Madrisquí, ya que este arrecife se encuentra a menos de 3 km de Gran Roque, la cual es la isla con la mayor población humana de todo el archipiélago (2000 habitantes aproximadamente según Bastidas *y col.*, 2012 y Villamizar *y col.*, 2008).

A pesar de que la densidad del fitoplancton fue relativamente alta en Madrisquí y Noronquí, el valor no manifiesta una alta concentración de nutrientes en el medio. Densidades por el orden de las 300.000 cel/l e inclusive de hasta 2 a 5 millones de células por litro se han alcanzado en las aguas productivas del nororiente del país (costa norte de Sucre, aguas circundantes a la isla de Margarita, Golfo de Paria, etc.), las cuales se enriquecen ya sea por la surgencia de las aguas profundas cargadas de nutrientes o por la descarga del río Orinoco (Varela *y col.*, 2003). Varela *y col.* (2003), en su estudio del fitoplancton de la plataforma nororiental de Venezuela, sostienen que a diferencia de lo registrado en la plataforma continental, particularmente hacia la zona costera, las densidades del fitoplancton son bajas en las aguas oceánicas (aguas circundantes a la isla La Blanquilla y zona oceánica del noreste venezolano), alcanzando pocas veces más de 100.000 cel/l. Estos

investigadores señalan que los focos de producción que se presentan en la costa norte de Sucre, alrededor de la isla de Margarita, en el Golfo de Paria y Delta, contribuyen a promover la producción de las áreas oceánicas del Caribe suroriental; de manera que el gradiente de concentración, que es máximo cerca de la costa, se difunde hacia el norte, noroeste y oeste, conducido por efecto del viento y las corrientes. Es de esperarse entonces que el fitoplancton presente en las aguas de Los Roques sea menos abundante que el fitoplancton de aguas oceánicas del noreste del país, ya que la posibilidad de enriquecimiento de las aguas del archipiélago es baja dada su ubicación geográfica.

A pesar de que las densidades del fitoplancton fueron bajas con respecto a lo reportado para otros ecosistemas marinos venezolanos, no se pueden ignorar los máximos valores alcanzados en las localidades del norte del Archipiélago. Es probable que la densidad relativamente elevada, así como el incremento en la contribución de organismos de tallas grandes, y la presencia de cianobacterias filamentosas en Madrisquí y Noronquí, sean el resultado de aguas más enriquecidas.

Aunque poco se conoce sobre los mecanismos que dan origen a los cambios en la estructura de tallas del fitoplancton, en diversos estudios se menciona que el mecanismo de control puede estar asociado al grado de enriquecimiento del sistema. Estos planteamientos surgen tanto de las consideraciones teóricas basadas en la fisiología del fitoplancton de acuerdo a las tallas (Kjørboe, 1993), como de los patrones registrados en los sistemas naturales. Se ha evidenciado que en las aguas oligotróficas, la comunidad del fitoplancton se encuentra dominada por pequeños organismos, pertenecientes en su mayoría, al picofitoplancton ( $< 2 \mu\text{m}$ ) y al nanofitoplancton ( $< 20 \mu\text{m}$ ), mientras que el porcentaje del microfitoplancton ( $> 20 \mu\text{m}$ ) o fitoplancton "grande" es bastante bajo en comparación con lo observado en sistemas eutróficos o de aguas más enriquecidas, en donde este tiene una mayor representación. Thingstad y Sakshaug (1990) señalan que el coeficiente de saturación media  $K$  (concentración de nutrientes a la cual la tasa de crecimiento  $V_{\text{max}}/2$  es obtenida) incrementa con el tamaño de la célula del fitoplancton, de manera que se puede decir que las células pequeñas tienen menores requerimientos metabólicos y se ven favorecidas (en relación a las grandes) en aquellos sistemas donde la concentración de nutrientes es baja. Por consiguiente, solo en condiciones de elevada concentración de nutrientes (ambientes eutróficos) las poblaciones del fitoplancton de talla grande pueden crecer, competir por estos e integrarse al grupo del fitoplancton de tamaño pequeño (Malone 1980; Yentsch y Phinney 1989; Chisholm, 1992 citado por Ciotti *y col.*, 2002).

Cabe señalar que aún cuando no se pudo analizar el picofitoplancton ( $< 2 \mu\text{m}$ ) debido a la limitación óptica del equipo utilizado, es muy probable que de haberse analizado, éste hubiese sido el componente

dominante, y no el nanofitoplancton, tal como lo detectaron Ferrier-Pâges y Gattusso (1998), Ferrier-Pâges y Furla (2001), y Tada *y col.* (2003) en las aguas circundantes a los arrecifes coralinos ubicados en las islas Sesoko y Miyako (Japón) y en la Polinesia Francesa. En dichas aguas oligotróficas el picofitoplancton contribuyó significativamente al total de la biomasa de la comunidad fitoplanctónica con valores superiores al 50%.

Independientemente de si es el nanofitoplancton o el picofitoplancton el componente dominante, el incremento en la contribución relativa del microfitoplancton dentro de las comunidades del fitoplancton, así como las mayores densidades sugieren una mayor disponibilidad de nutrientes en las aguas de los cayos del norte. Probablemente las diferencias en la geomorfología de los arrecifes del norte y del sur crean condiciones hidrográficas diferentes, lo cual influye sobre la química del agua (disponibilidad de nutrientes) y la productividad primaria de la zona. Voltolina (1978) en un detallado estudio de la hidrografía de la zona central del Caribe venezolano, observa las distorsiones en la distribución de la temperatura que producen el cordón de islas por fuera de la plataforma continental, entre ellas Los Roques, lo que hace evidente el afloramiento de aguas más frías al norte de las islas y un hundimiento hacia el suroeste, captado por la presencia de aguas más cálidas en profundidad.

En relación a esto es posible considerar que una mayor disponibilidad de nutrientes en las aguas del norte producto de las condiciones hidrográficas creadas por la propia morfología del arrecife (banco-bajo), sea el factor responsable de las mayores densidades fitoplanctónicas registradas. De hecho, de acuerdo a nuestras observaciones, las aguas de Madrisquí y Noronquí presentan una gran cantidad de material orgánico en suspensión posiblemente por las moderadas a fuertes corrientes que agitan el material del fondo. No obstante, dada la carencia de datos hidrográficos, no es posible afirmar nada sobre la hidrografía y su relación con el fitoplancton, y solo representa una posibilidad. Por lo tanto, es necesario que en el futuro se estudie la relación del fitoplancton con la hidrografía (perfiles de temperatura, perfiles de salinidad, y corriente) en las diferentes zonas del archipiélago, y se conozca cómo se acomodan las masas de agua alrededor de los bajos e islas del sector norte a fin de determinar si hay movimientos ascendentes por efecto de las corrientes y el viento.

Otro factor que pudiese considerarse para explicar el patrón registrado, se encuentra relacionado con la proximidad de los cayos del norte a la isla Gran Roque. No podemos descartar que el posible enriquecimiento provenga de esta isla, debido a que allí se encuentran los asentamientos humanos y se generan las mayores actividades

antrópicas de todo el parque. Según IRNR-USB y AECI (2003), la disposición de aguas residuales domésticas se descargan en pozos sépticos, los cuales presentan problemas de saturación en ciertos períodos del año (período de lluvias) generándose reboso de los pozos. Estos investigadores señalan que estas aguas son fuente de contaminación bacteriológica y tienen aportes importantes de fósforo y nitrógeno que son causa de eutroficación potencial. No obstante, también señalan que las elevadas densidades de aves presentes en ciertos sectores de Gran Roque representan una entrada importante de nutrientes al medio marino. A pesar de que Noronquí se encuentra mucho más lejos de Gran Roque en relación a Madrisquí (aproximadamente a 6 km) es posible que sus aguas se vean más influenciadas por los nutrientes provenientes de Gran Roque dada su ubicación geográfica y la dirección de las corrientes (oeste), lo que podría explicar la máxima densidad fitoplanctónica registrada en dicha localidad y la preponderancia numérica de diatomeas del microfitoplancton (*Thalassionema nitzschioides* y *Chaetoceros* sp.). Bruland *y col.* (2001) señalan que un prerrequisito para que se eleven las tasas de crecimiento de las poblaciones de diatomeas, es aumentando el flujo de los macronutrientes nitrato, fosfato y ácido silícico hacia la superficie del agua. En virtud de esto, es preciso que aunque las densidades fueron igualmente bajas en relación a otros ecosistemas marino se preste atención en futuros estudios de monitoreo, a los cayos del norte próximos a Gran Roque, especialmente a los ubicados hacia el oeste, ya que ellos posiblemente sean los principalmente afectados por el incremento en el aporte de nutrientes provenientes de Gran Roque. El enriquecimiento del agua no solo favorecería el crecimiento poblacional de estos pequeños productores primarios, y de ciertas especies de cianobacterias filamentosas asociadas con la enfermedad de la banda negra, sino el crecimiento de macroalgas a expensas del coral lo cual podría afectar el equilibrio del arrecife, poniéndolo en riesgo.

Por tal motivo se recomienda el desarrollo de estudios apropiados, en cuanto al diseño de muestreo y las variables a considerar, que permitan medir o conocer si las comunidades planctónicas y bentónicas de los cayos cercanos al Gran Roque se encuentran impactadas por el enriquecimiento de las aguas, con la finalidad de hacer las denuncias formales y se tomen las medidas necesarias. Asimismo, se recomienda en futuros estudios, la inclusión del picofitoplancton debido a su importante contribución a la biomasa total del fitoplancton y a la productividad primaria de las aguas de arrecifes coralinos según los diversos estudios publicados. Finalmente, es indispensable hacer un análisis detallado de las especies presentes en las aguas del Archipiélago de Los Roques, usando microscopía electrónica, debido a los pequeños tamaños que caracteriza al fitoplancton de la región y a su dificultad para la identificación.

## CONCLUSIONES

Las densidades del fitoplancton fueron relativamente bajas en comparación con otros ecosistemas marinos venezolanos, lo cual es propio de los sistemas de arrecife donde las aguas tienden a ser oligotróficas. Las comunidades se caracterizaron por la preponderancia de organismos pequeños, del nanofitoplancton, en todas las localidades; no obstante, el microfitoplancton tuvo una mayor representación en las aguas del norte, en donde el fitoplancton fue más abundante, lo cual sugiere una mayor disponibilidad de nutrientes en esos arrecifes.

## AGRADECIMIENTOS

A las Instituciones que nos financiaron: Conservación Internacional, Capítulo Venezuela, el FONACIT (LOCTI) y Rolex de Venezuela.

## LITERATURA CITADA

- Ayukai, T. 1995. Retention of phytoplankton and planktonic microbes on coral reefs within the Great Barrier Reef, Australia. *Coral Reefs*. 14:141-147.
- Bastidas, C., D. Bone, A. Cróquer, D. Debrot, E. García, A. Humanes, R. Ramos y S. Rodríguez. 2012. Massive hard coral loss after a severe bleaching event in 2010 at Los Roques, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.* 60 (1):29-37.
- Bérard-Therriault, L., M., Poulin y L. Bossé. 1999. Guide d'identification du phytoplancton marin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent incluant également certains protozoaires. Presses scientifiques du CNRC. Ottawa-Canada. 387 pp.
- Bruland, K. W., E. L., Rue y G. J. Smith. 2001. Iron and macronutrients in California coastal upwelling regimes: Implications for diatom blooms. *Limnology and Oceanography*. 46(7): 1661-1674.
- Casanova, E., E. Zoppi de Roa y E. Montiel. Caracterización espacial y temporal del zooplancton en el Archipiélago los Roques, Venezuela. 2007. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*. 46 (1):51-65.
- Cervigón, F. y A. Alcalá. 1997.. Fundación Museo del Mar y Fundación Científica Los Roques. Caracas, Venezuela. 79 pp.
- Ciotti, A. M., M. R. Lewis y J. J. Cullen. 2002. Assessment of the relationships between dominant cell size in natural phytoplankton communities and the spectral shape of the absorption coefficient. *Limnology and Oceanography*. 404-416.
- Cróquer, A., S.M. Pauls y A.L. Zubillaga. 2003. Coral disease outbreak in a coral reef at Los Roques National Park. *Rev. Biol. Trop.* 51:39-45.
- Cróquer, A., E. Weil, A.L. Zubillaga y S.M. Márquez. 2005. Impact of a White Plague-II Outbreak on a Coral Reef in the Archipelago Los Roques National Park, Venezuela. *Carib. J. Sci.* 41:815-823.
- Cróquer, A., E. Weil y A.L. Zubillaga. 2005. Effects of white plague disease-II outbreak on the coral community structure of Madrisquí Key, Los Roques National Park, Venezuela. *Carib. J. Sci.* 41:815-823.

- Cróquer, A., D. Debrot, E. Klein, M. Kurten, S. Rodríguez y C. Bastidas. 2010. What two years of monitoring tell us about Venezuelan coral reefs? The southern Tropical America node of the Global coral reef monitoring network (STA-GCRMN). *Rev Biol. Trop.* 58(1):51-65.
- Fabricius, K. E., A. Genin y Y. Benayahu. 1995. Flow-dependent herbivory and growth in zooxanthellae-free soft corals. *Limnol. Oceanogr.* 40:1290-1301.
- Ferrier-Page's, C. y J.P. Gattuso. 1998. Biomass, production and grazing rates of pico- and nanoplankton in coral reef waters (Miyako Island, Japan). *Microb. Ecol.* 35:46-57.
- Ferrier-Page's, C. y P. Furla. 2001. Pico- and nanoplankton biomass and production in the two largest atoll lagoons of French Polynesia. *Mar Ecol Prog Ser* 211:63-76.
- Gamboa-Márquez, J., I. Sánchez-Suárez y A. La Barbera de Oliveros. 1994. Dinoflagelados (Pyrrhophyta) del Archipiélago de Los Roques, Venezuela: familias Proocentraceae y Ostreopsidaceae. *Acta Cient. Venez.* 45:140-152.
- González, E. 1989. Producción primaria del fitoplancton y caracterización fisicoquímica de las aguas del cayo Dos Mosquises, Los Roques, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr.* 28(1-2):35-45.
- Hauschild, M. 1984. Algunos aspectos de la biología del carite, *Scomberomorus regalis*, en el suroeste del Archipiélago de Los Roques. *Acta Científica Venezolana* 35:474.
- Instituto de Recursos Naturales Renovables y Agencia Española de Cooperación Internacional. 2003. *Propuesta de Lineamientos para una gestión orientada hacia la conservación del Parque Nacional Archipiélago Los Roques*. Universidad Simón Bolívar. 300 pp.
- Jaanus, A., K. Toming, S. Hallfors, K. Kaljurand y I. Lips. 2009. Potential phytoplankton indicator species for monitoring Baltic coastal waters in the summer period. *Hydrobiologia.* 629:157-168.
- Kiorboe T. 1993. Turbulence, phytoplankton cell size, and the structure of pelagic food webs. *Advances in marine biology.* Academic Press. 29:1-72.
- Malone, T.C. 1980. Algal size. En: *The physiological ecology of phytoplankton* (Morris, I, Eds.), Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.
- Ortiz, M., M.E. Rocha, y J.M. Posada. 1996. Food habits of the sympatric fishes, *Harengula humeralis* y *Harengula clupeiola* (Clupeidae) in the Archipiélago de Los Roques National Park, Venezuela. *Caribbean Journal of Science* 32:26-32.
- Patten, N. L., A. S. J. Wyatt, R. J. Lowe y A. M. Waite. 2011. Uptake of picophytoplankton, bacterioplankton and virioplankton by a fringing coral reef community (Ningaloo Reef, Australia). *Coral Reefs* 30:555-567.
- Posada, J.M., B. Alvarez, y J.A. Marval. 1988. Algunos aspectos de la biología reproductiva de las sardinias *Harengula humeralis* y *Harengula clupeiola* en el Parque Nacional Archipiélago de Los Roques. *Memorias de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle* 3:237-258.
- Posada, J.M., E. Villamizar y D. Alvarado. 2003. Rapid assessment of coral reefs in the Archipiélago de Los Roques National Park, Venezuela (Part 2: Fishes). In: Lang JC (ed.), Status of Coral Reefs in the Western Atlantic: Results of Initial Surveys, Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA) Program. *Atoll Res. Bull.* 496:531-544.
- Sánchez, I. 1995. Ecología y Dinámica del fitoplancton en arrecifes coralinos: un estudio en los Islotes Dos Mosquises, Parque Nacional Archipiélago Los Roques, Venezuela. Trab. Grad. Doctoral, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Caracas, Venezuela. 200 pp.



- Schweizer, D., R.A. Armstrong y J. Posada. 2005. Remote sensing characterization of benthic habitats and submerged vegetation biomass in Los Roques Archipelago National Park, Venezuela. *Int. J. Rem. Sen.* 26:2657-2667.
- Tada, K., K. Sakai, Y. Nakano, A. Takemura y S. Montani. 2003. Size-fractionated phytoplankton biomass in coral reef waters off Sesoko Island, Okinawa, Japan. *Journal of Plankton Research.* 25(8):991-997.
- Thingstad, T.F. y E. Sakshaug. 1990. Control of phytoplankton growth in nutrient recycling ecosystems. Theory and terminology. *Marine Ecology Progress Series.* 68: 261-272.
- Tomas, C.R. 1997. Identifying Marine Phytoplankton. Academic Press. 858 pp.
- Varela, R., F. Carvajal y F. Muller-Karger. 2003. El fitoplancton en la Plataforma Nororiental de Venezuela. En: *La Sardina (Sardinella aurita) Su medio ambiente y explotación en el Oriente de Venezuela.* (Freon, P., y Mendoza, J. (Ed.). pp:263-294.
- Villamizar, E. y R.A Laughlin. 1991. Fauna associated with the sponges *Aplysina archeri* and *Aplysina lacunosa* in a coral reef of the Archipiélago de Los Roques, National Park, Venezuela. En *Fossil and Recent Sponges* (Reitner, J. y H. Keupp, Eds.). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp: 522-542.
- Villamizar, E., J.M. Posada y S. Gómez. 2003. Rapid assessment of coral reefs in the Archipiélago de Los Roques National Park, Venezuela (Part I: stony corals and algae). En: *Status of Coral Reefs in the Western Atlantic: Results of Initial Surveys, Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment* (J.C. Lang, Ed.). *Atoll Res.Bull.* 496: 512-529.
- Villamizar, E., H. Camisotti, B. Rodríguez, J. Pérez y M. Romero. 2008. Impacts of the 2005 Caribbean bleaching event at Archipiélago de Los Roques National Park, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.* 56(1):255-270.
- Voltolina, D. 1978. Hydrological Conditions in the Central Zone of the Venezuelan Caribbean Sea, february 1975. CICAR II Symposium on progress in Marine Research in the Caribbean and Adjacent Regions. FAO Fisheries Report n° 200 Supplement. Pp:185-210.
- Wetzel, R.G y G.E. Likens. 1991. *Limnological Analyses.* Segunda edición. Springer-Verlag. New York.
- Yahel, G., A. F. Post, K. Fabricius, D. Marie, D. Vaultot y A. Genin. 1998. Phytoplankton distribution and grazing near coral reefs. *Limnol Oceanogr.* 43(4): 551-563.
- Yentsch, C.S. y D.A. Phinney. 1989. A bridge between optics and microbial ecology. *Limnology and Oceanography.* 34:1694-1705.
- Zubillaga, A.L., C. Bastidas y A. Croquer. 2005. High densities of the Elkhorn coral *Acropora palmata* in Cayo de Agua, Archipelago Los Roques National Park, Venezuela. *Coral Reefs* 24:86.