

PATRONES DE DISTRIBUCION FICOFLORESTICA EN EL SISTEMA LAGUNAR  
DE NICHUPTE, QUINTANA ROO, MEXICO<sup>1</sup>

LIGIA COLLADO-VIDES  
JORGE GONZALEZ-GONZALEZ

Lab. de Ficología, Facultad de Ciencias  
U.N.A.M., A.P. 70-620  
04510 México, D.F., México

Y

EXEQUIEL EZCURRA

Lab. de Ecología de Comunidades  
Centro de Ecología, U.N.A.M., A.P. 70-275  
04510 México, D.F., México

RESUMEN

Se hizo un estudio sobre las algas y su distribución en el Sistema Lagunar de Nichupté (SLN). El SLN es una laguna costera, ubicada en el estado de Quintana Roo, en las costas del Mar Caribe. Tiene aguas prácticamente marinas, sedimentos arenosos cubiertos por manchones de pastos y las orillas presentan crecimientos de manglares.

Se encontraron 77 especies distribuidas en las siguientes divisiones: 33 en Chlorophyta, 37 en Rhodophyta, 3 en Phaeophyta y 4 en Cyanophyta. Se observó una diferencia florística significativa entre las muestras de algas recolectadas en los bajos arenosos y las de raíces de manglares. Las diferencias principales en la composición ficoflorística se encuentran asociadas al substrato, profundidad y salinidad.

ABSTRACT

A study on the algal distribution in the Nichupte Lagoon System (NLS) was done. The NLS is a coastal lagoon in the state of Quintana Roo, in the coast of the Caribbean Sea. It has mostly marine water. The sandy sediments are covered with patches of seagrasses and the borders present mangrove growths.

A total of 77 species was found, distributed in the following divisions: 33 in Chlorophyta, 37 in Rhodophyta, 3 in Phaeophyta and 4 in Cyanophyta. A significant floristic difference was found between the samples collected in the sandy places and those on the roots of mangroves. The main differences in floristic composition were associated with substratum, depth and salinity.

---

<sup>1</sup> Para la realización del trabajo se contó con el apoyo económico de la DGAPA-UNAM, por medio del programa de apoyo a los estudiantes de doctorado otorgado a Ligia Collado-Vides en el año 1990.

## INTRODUCCION

Las lagunas costeras tropicales, sistemas complejos de transición entre el continente y el océano, han recibido poca atención desde el punto de vista ficoflorístico, a pesar de la importancia de las algas en los litorales del trópico. Los trabajos ficológicos realizados en lagunas costeras y estuarios tienen diversos enfoques. Por ejemplo, los que abordan el estudio de algas asociadas a las raíces de manglares (Sánchez, 1963; Oliveira, 1984; King, 1990; Suárez, 1989; Jiménez, 1990; Rodríguez y Stoner, 1990; West et al., 1992), los hechos en estuarios en los que se analiza la distribución de la flora en relación con algunos gradientes ambientales, en particular de salinidad (Zechman y Mathieson, 1985; Mathieson y Penniman, 1986), o bien los realizados en lagunas con ciertas características estuarinas como las de Curaçao (Van den Hoek et al., 1972), en las que se observa la ficoflora asociada a los pastos y en relación a un gradiente de salinidad.

El Sistema Lagunar de Nichupté (SLN) está ubicado en el estado de Quintana Roo en su litoral correspondiente al Mar Caribe. Es un sistema costero compuesto por siete cuerpos de agua (Laguna de Bojórquez, Cuenca Norte, Cuenca Central, Cuenca Sur, Río Inglés, Laguna de Somosaya y Laguneta del Mediterráneo). Tiene aguas prácticamente marinas, de sedimentos arenosos cubiertos por manchones de pastos y las orillas por crecimientos de manglares. El SLN es uno de los atractivos importantes del corredor turístico Tulúm-Cancún y se encuentra sujeto a todas las presiones ambientales propias del desarrollo urbano y las ocasionadas por el uso de este cuerpo de agua para diversas actividades recreativas.

El primer trabajo prospectivo finalizado en esta zona (Jordán et al., 1978), incluye un inventario de algas marinas; posteriormente se realizaron estudios sobre las algas de la Laguna de Bojórquez, la cual pertenece al SLN. Serviere-Zaragoza (1986) describió las especies encontradas en dicha laguna y Collado-Vides (1989) estudió las algas filamentosas flotantes. Recientemente Serviere-Zaragoza et al. (1992) analizaron la forma en que se agrupa la ficoflora de la Laguna de Bojórquez en relación con la profundidad y la presencia de pastos.

Con base en los trabajos anteriores en la zona, así como en virtud de la inminente alteración que el SLN sufre por el desarrollo turístico de Cancún (Merino y Gallegos, 1986), se decidió extender el estudio de las algas a todo Nichupté. En esta contribución se hace un reconocimiento general de la ficoflora presente, se enumeran las algas encontradas en el SLN y se analiza la distribución espacial de las mismas en relación con los parámetros de profundidad, tipo de substrato y variables hidrológicas (oxígeno disuelto, pH, temperatura y salinidad).

## AREA DE ESTUDIO

El SLN se encuentra localizado al noreste de la península de Yucatán a los 21°06' N y 86°47' O (Fig. 1). El sistema está separado del mar por una barrera conocida como tómbolo arenoso; se comunica por dos canales dragados para facilitar la navegación: el canal Cancún al norte y el canal Nizuc al sur. Nichupté tiene aproximadamente 12 km de ancho por 21 km de largo. La profundidad en general es somera, desde bajos de 10 a 30 cm hasta las zonas centrales de las cuencas de 1 a 2 m y canales de hasta 4 m.

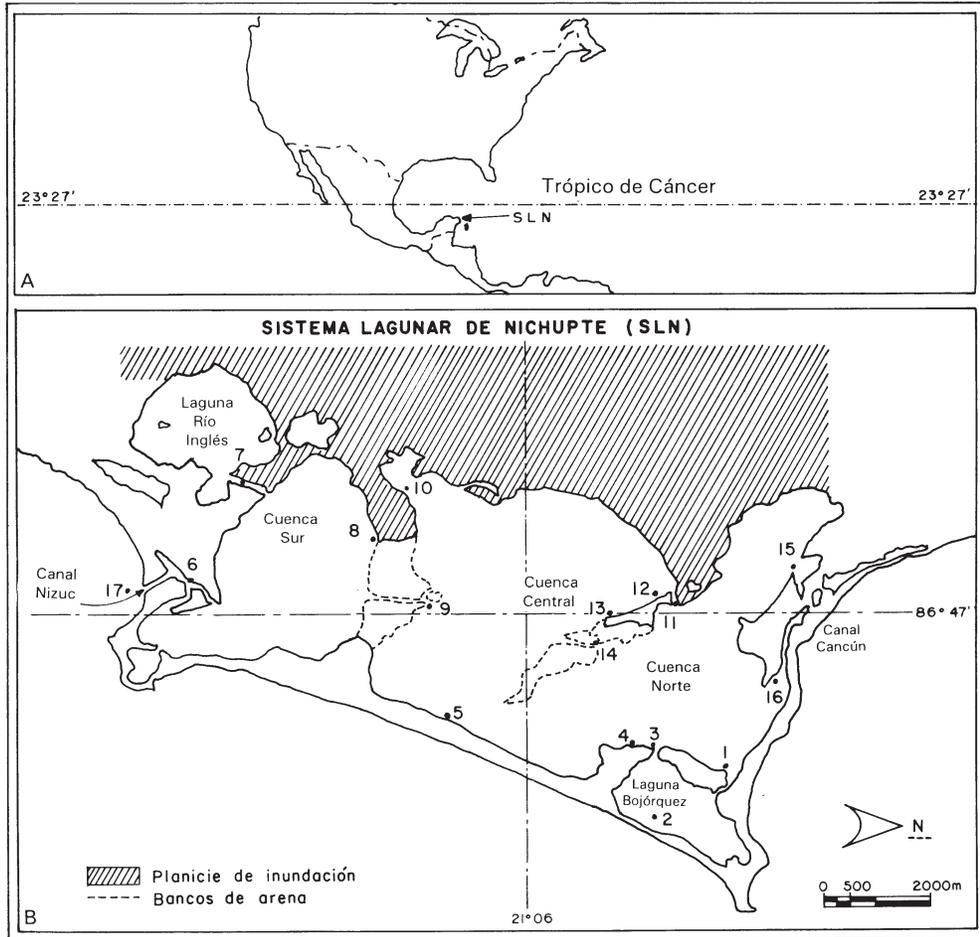


Fig. 1. Mapa de la zona de estudio y localización de las estaciones de recolecta, marcadas de 1 a 17.

El agua en la mayor parte del SLN es transparente y de origen marino. La zona este recibe aportes dulceacuícolas subterráneos resultado de la captura de agua de lluvia en la planicie de inundación adyacente, por lo que se pueden encontrar ciertas áreas salobres, sin embargo, su influencia no alcanza a modificar la salinidad global de Nichupté, por lo que su efecto es local (Merino et al., 1988).

Las mareas son de tipo mixto, diurnas, con una amplitud de 0.2 m. Los canales de Nizuc y Cancún reducen la amplitud de marea de la región a 0.03 m dentro del SLN (García-Krasovsky, 1985). Jordán et al. (1978) y Merino et al. (1988) describen un gradiente de salinidad y temperatura E-O como una tendencia general en Nichupté; la zona este, con variación estacional en la salinidad y la oeste prácticamente marina. Hay tres períodos climáticos principales: de secas de febrero a mayo, de lluvias de verano de junio a septiembre y de lluvias de invierno ("nortes") de octubre a enero.

Los vientos, la evaporación y las lluvias son los factores que más afectan la hidrología del SLN (Merino et al., 1988).

La transparencia en el SLN depende de los vientos dominantes y del tipo de sedimento, por ejemplo, en zonas arenosas ésta rara vez se pierde ya que los vientos dominantes no logran movilizar los sedimentos hacia la columna de agua; en comparación, en las zonas fangosas con poca fuerza de viento se logra movilizar el sedimento y enturbiar el agua.

La vegetación que se encuentra en Nichupté consiste de pastos marinos, como *Thalassia testudinum* König y *Halodule* sp., manglar de *Rhizophora mangle* L., y algas que crecen como epífitas de los primeros y como bentónicas en otros substratos.

## MATERIAL Y METODOS

En el mes de abril de 1991 se llevó a cabo el trabajo de recolecta de algas bentónicas, tanto macroscópicas como microscópicas epífitas de las primeras, y la medición de factores ambientales, tales como la profundidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto y salinidad (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores promedio (X) y error estándar (e.s.), para las variables ambientales registradas durante la colecta realizada.

Variables	GLOBALES		BAJOS		MANGLES	
	X	e.s.	X	e.s.	X	e.s.
Profundidad (m)	0.65	0.33	0.58	0.3	0.76	0.33
Temperatura (°C)	27.88	1.29	28.25	1.38	25.34	7.37
pH	8.11	0.43	8.31	0.29	7.42	2.2
Salinidad (‰)	30.78	2.03	31.31	2.46	27.84	8.0
Oxígeno (ml/l)	5.63	0.98	5.63	0.9	5.63	1.82

Con base en el análisis de las principales diferencias mencionadas para Nichupté, se seleccionaron 17 puntos de trabajo, con lo que se pretendió cubrir al máximo la

heterogeneidad ambiental. En cada estación se tomaron de una a 5 muestras dependiendo de los distintos tipos de substrato encontrados (fondo arenoso y raíz de mangle).

Se obtuvo un total de 29 muestras en las 17 estaciones. En el cuadro 2 se presenta el número de muestras por estación y se especifica cuantas corresponden a cada ambiente. Por ejemplo, en la estación 6 se recolectaron 5 muestras, una en bajo arenoso y 4 en manglar, quedando representado el conjunto como B/4M.

Cuadro 2. Número de muestras colectadas y ambiente en las 17 estaciones, B=bajo, M=manglar.

ESTACION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
MUESTRAS	1	1	2	2	2	5	1	1	1	2	2	1	3	1	1	2	1
AMBIENTE	B	B	B/M	B	B	B/4M	M	M	B	M	B/M	M	2B/M	B	M	B	B

La recolecta de algas se realizó manualmente y en ocasiones con ayuda de espátula. El material se conservó en agua de mar con formaldehído a 4% (Littler y Littler, 1985), fue determinado a nivel de especie y se encuentra depositado en el herbario de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (FACME). Para la identificación se utilizaron las obras de Taylor (1960), Schnetter (1978), Kapraun et al. (1983), Van den Hoek (1982), Hillis-Colinvaux (1980) y Littler y Littler (1990). Los cambios nomenclaturales se hicieron siguiendo a Wynne (1986).

La matriz de presencia-ausencia (29 muestras x 78 entidades de algas) se sometió a un análisis de componentes principales (ACP). A través de esta técnica se logra reducir la dimensionalidad del problema a un número de vectores, los cuales pueden ser sometidos a posteriores pruebas estadísticas y, por otro lado, permite detectar patrones o tendencias de asociación en las muestras. Se usó la forma de doble centrado de Gower (1966) sobre datos no estandarizados, para observar la formación de grupos.

Con base en las evaluaciones realizadas por Ezcurra (1984) y Ezcurra et al. (1988), se descartó la utilización de otras técnicas de análisis, como el de varianza multivariado.

Con los resultados se elaboró una gráfica para las especies y otra para las muestras utilizando los ejes que reunieron la mayor variación. Se describieron las tendencias de los datos. Se muestran las dos gráficas en una misma figura o "biplot" (Ter Braak, 1983). Se hizo un análisis de varianza a los ejes del ACP para poner a prueba la hipótesis de existencia de dos grupos ficoflorísticos. Por otro lado, se aplicó un análisis de regresión múltiple sobre los ejes 1 y 2 de los ACP y las variables ambientales para evaluar la relación entre la variación florística y las condiciones ambientales. Se registraron las correlaciones parciales de los factores más significativos.

## RESULTADOS

Se encontraron 77 especies distribuidas en las siguientes divisiones: 33 en Chlorophyta, 37 en Rhodophyta, 3 en Phaeophyta y 4 en Cyanophyta. El cuadro 3 muestra que de las 77 especies enlistadas 37 son registros nuevos para el SLN, 35 se han men-

cionado para la Laguna de Bojórquez del mismo SLN por Serviere-Zaragoza (1986), Collado-Vides (1989) y Serviere-Zaragoza et al. (1992), y 5 han sido citadas para el SLN por Jordán et al. (1978).

Cuadro 3. En la primera columna se integra la lista florística total. La segunda (R) hace referencia a los registros anteriores (B=Bojórquez, SLN=Sistema Lagunar de Nichupté), las fuentes para Bojórquez son: Serviere-Zaragoza (1986), Collado-Vides (1989) y Serviere-Zaragoza et al. (1992), para el SLN la fuente es Jordán et al. (1978). La tercera columna (AB) señala el ambiente en el que se recolectó la especie (B=bajo, M=manglar y B/M=en ambos ambientes). La última (ACP) indica el ambiente en el que ubica el análisis de componentes principales de las especies de algas (\*=que se presenta en zona de mezcla, B=característica de zona de bajos y M=característica de zona de manglares).

Especies	R	AB	ACP
DIVISION CYANOPHYTA			
1 <i>Calothrix crustacea</i> Schousboe & Thuret	B	B	*/B
2 <i>Microcoleus lyngbyaceus</i> (Kuetzing) Crouan	SLN	B/M	*/B
3 <i>Microcoleus vaginatus</i> (Vaucher) Gomont		M	*
4 <i>Schizothrix mexicana</i> Gomont	B	M	*
DIVISION CHLOROPHYTA			
5 <i>Acetabularia</i> cf. <i>farlowii</i> Solms-Laubach	B	M	*
6 <i>Acetabularia crenulata</i> Lamouroux		B/M	B
7 <i>Anadyomene stellata</i> (Wulfen) C. Agardh	B	M	*
8 <i>Avrainvillea longicaulis</i> (Kuetzing) Murray & Boodle	B	B	*
9 <i>Avrainvillea nigricans</i> Decaisne	B	B/M	*
10 <i>Batophora oerstedii</i> J. Agardh	SLN	B/M	B
11 <i>Boodleopsis pusilla</i> (Collins) Taylor, Joly & Bernatowicz	B	B	*
12 <i>Caulerpa fastigiata</i> Montagne	B	B/M	*
13 <i>Caulerpa prolifera</i> (Forsskal) Lamouroux		B	*
14 <i>Caulerpa sertularioides</i> (S.G. Gmelin) Howe		B/M	*
15 <i>Caulerpa verticillata</i> J. Agardh	B	B/M	M
16 <i>Chaetomorpha linum</i> (O.F. Muller) Kuetzing	B	B/M	*
17 <i>Cladophora conferta</i> Crouan frat. ex Schramm & Mazé		B	*
18 <i>Cladophora crystallina</i> (Roth) Kuetzing		M	*
19 <i>Cladophora delicatula</i> Montagne		M	M
20 <i>Cladophora expansa</i> (Mert. ex Jurgens) Kuetzing		M	*
21 <i>Cladophora howei</i> Collins		M	*
22 <i>Cladophora montagneana</i> Kuetzing		B/M	*
23 <i>Cladophora pellucidoidea</i> van den Hoek		M	*
24 <i>Cladophoropsis macromeres</i> Taylor	B	B/M	B
25 <i>Cladophoropsis membranacea</i> (C. Agardh) Boergesen	B	B/M	*
26 <i>Halimeda incrassata</i> (Ellis) Lamouroux	B	B/M	B
27 <i>Halimeda simulans</i> Howe		B	*
28 <i>Halimeda tuna</i> (Ellis & Solander) Lamouroux		M	*
29 <i>Penicillus capitatus</i> Lamarck	SLN	B	B
30 <i>Penicillus lamourouxii</i> Decaisne	B	B	B

Cuadro 3. Continuación.

Especies	R	AB	ACP
31 <i>Rhipocephalus phoenix</i> (Ellis & Solander) Kuetzing		B	*
32 <i>Rhizoclonium africanum</i> Kuetzing	B	B/M	*
33 <i>Rhizoclonium crassipellitum</i> W. & G. S. West	B	B	*
34 <i>Rhizoclonium kernerii</i> Stockmayer in Taylor	B	B/M	*
35 <i>Rhizoclonium riparium</i> (Roth) Harvey	B	B/M	*
36 <i>Udotea flabellum</i> (Ellis & Solander) Howe		B	*
37 <i>Ulothrix flacca</i> (Dillwyn) Thuret	B	B/M	*
DIATOMEAS			
38 Diatomeas		B/M	*
PHAEOPHYTA			
39 <i>Dictyota dichotoma</i> (Hudson) Lamouroux	B	B/M	B
40 <i>Ectocarpus rhodoortonoides</i> Boergesen		M	*
41 <i>Ectocarpus subcorymbosus</i> Farlow, emend. Holden in Taylor		M	*
RHODOPHYTA			
42 <i>Acanthophora spicifera</i> (Vahl) Boergesen	B	B/M	*
43 <i>Asparagopsis taxiformis</i> (Delile) Trevisan	B	B/M	*
44 <i>Centroceras clavulatum</i> (C. Agardh) J. Montagne	B	B/M	B
45 <i>Ceramium brevizonatum</i> H.E. Petersen v. <i>caraibicum</i> H.E. Petersen & Boergesen	B	B/M	M
46 <i>Ceramium byssoideum</i> Harvey in Taylor	B	B/M	B
47 <i>Ceramium codii</i> (Richards) Mazoyer		B	*
48 <i>Ceramium fastigiatum</i> Harvey		B/M	*
49 <i>Ceramium leptozonatum</i> Howe		B	*
50 <i>Champia parvula</i> (C. Agardh) Harvey	B	B	*
51 <i>Chondria baileyana</i> (Montagne) Harvey		B	*
52 <i>Chondria collinsiana</i> Howe		B	*
53 <i>Chondria littoralis</i> Harvey	B	B/M	*
54 <i>Dasya ramosissima</i> Harvey		B	*
55 <i>Digenea simplex</i> (Wulfen) C. Agardh		B/M	M
56 <i>Erythrotrichia carnea</i> (Dillwyn) J. Agardh		B/M	*
57 <i>Griffithsia tenuis</i> C. Agardh in Taylor		B	B
58 <i>Herposiphonia pecten-veneris</i> (Harvey) Falkenberg		B	B
59 <i>Herposiphonia pecten-veneris</i> (Harvey) Falkenberg v. <i>laxa</i> Taylor		B	B
60 <i>Herposiphonia secunda</i> (C. Agardh) Falkenberg	B	B	*
61 <i>Hypnea cervicornis</i> J. Agardh	B	B/M	*
62 <i>Jania adhaerens</i> Lamouroux	B	B/M	B
63 <i>Laurencia gemmifera</i> Harvey	SLN	B	B
64 <i>Laurencia microcladia</i> Kuetzing	B	B	B
65 <i>Laurencia papillosa</i> (C. Agardh) Greville	B	B/M	*
66 <i>Polysiphonia atlantica</i> Kapraun & Norris		M	*

Cuadro 3. Continuación.

Especies	R	AB	ACP
67 <i>Polysiphonia binneyi</i> Harvey		B/M	B
68 <i>Polysiphonia eastwoodae</i> Setchell & Gardner		B	*
69 <i>Polysiphonia exilis</i> Harvey		M	*
70 <i>Polysiphonia flaccidissima</i> Hollenberg in Taylor		B/M	B
71 <i>Polysiphonia fracta</i> Harvey		B/M	*
72 <i>Polysiphonia gorgoniae</i> Harvey	B	M	*
73 <i>Polysiphonia havanensis</i> Montagne		M	*
74 <i>Polysiphonia howei</i> Hollenberg		M	*
75 <i>Polysiphonia sphaerocarpa</i> Boergesen		B	*
76 <i>Polysiphonia subtilissima</i> Montagne	B	B/M	*
77 <i>Spyridia filamentosa</i> (Wulfen) Harvey	B	B/M	M
78 <i>Stylonema alsidii</i> (Zanardini) Drew	SLN	B/M	*

En el cuadro 3 puede observarse que de las 77 especies encontradas, 35 se presentaron tanto en los bajos como en los manglares (B/M), 25 sólo en bajos (B) y 17 sólo en manglares (M). Las diatomeas se presentan como un taxon en conjunto, debido a que no fueron identificadas a un nivel inferior al de división; se hallaron en bajos y manglares (B/M).

#### Análisis de componentes principales (ACP)

La mayor parte de la variación (57%) en el ACP se expresa por los dos primeros componentes. Dado que la matriz de datos original tiene una dimensión máxima de 28 (29 muestras -1), cualquier eje que explique aproximadamente 4% de la varianza o menos reúne información similar o menor a la que definen las muestras en forma individual. Usando este criterio, se descartaron los ejes superiores al segundo.

En la figura 2a se observa claramente que las muestras se separan en tres zonas, del lado derecho del eje 1 están agrupadas las de los bajos (B), al lado izquierdo las de los manglares (M) y en la parte intermedia hay tanto de bajos como de manglares. Esto sugiere la existencia de dos grandes ambientes ficológicos diferentes, los bajos arenosos y las raíces de manglares, así como la presencia de un continuo ecotonal entre ellos.

El área donde se encuentran muestras con asociaciones de especies de ambos ambientes se designó como zona de mezcla (indicada en la figura 2 por líneas punteadas).

Para evaluar si las desigualdades observadas entre bajos y manglares son suficientes para concluir que existen dos ambientes ficoflorísticamente diferenciados, se aplicó un análisis de varianza utilizando los resultados del ACP (eje 1) y como modelo a probar la variedad de ambientes (1=bajo, 2=mangle). Se concluye que la composición ficoflorística de los ambientes difiere significativamente ( $F=15.9$  y  $P=0.0005$ ).

En la figura 2b se observa que la mayor parte de las especies se encuentran acumuladas en la zona central de los ejes y no se arreglan según algún gradiente en particular. Se puede, sin embargo, diferenciar dos grupos en relación al eje 1, hacia el lado derecho del mismo se encuentran la mayoría de las especies, y al izquierdo un número menor.

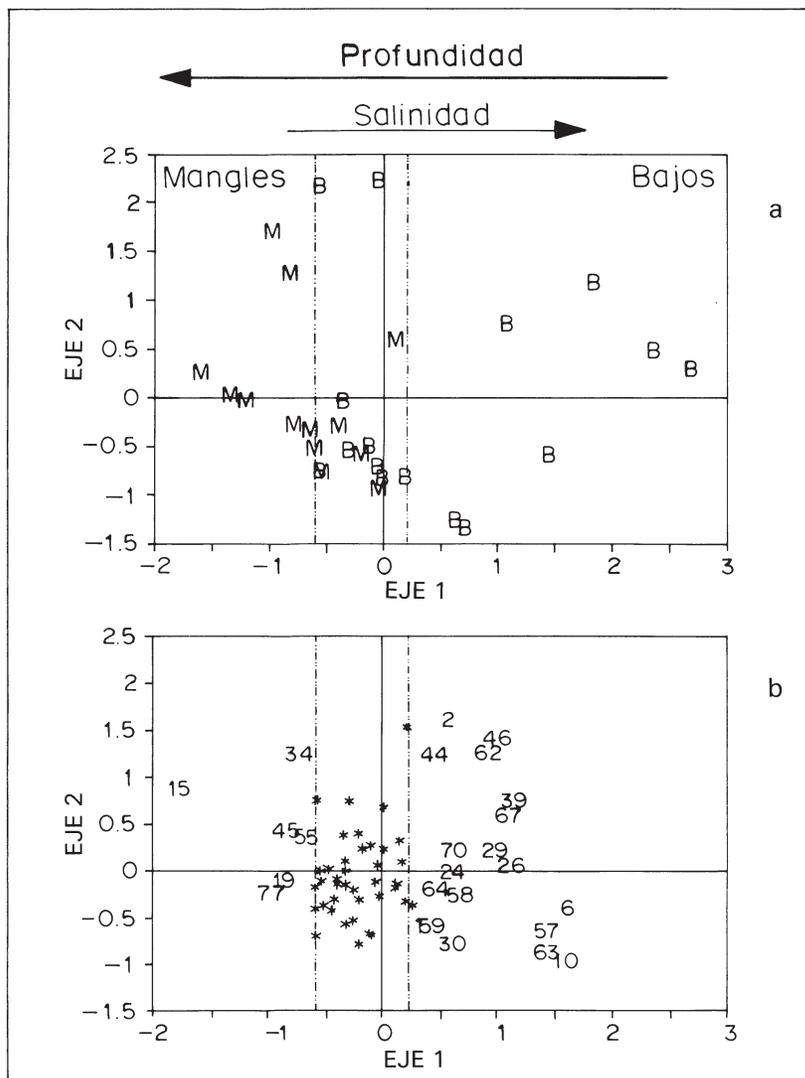


Fig. 2. Gráficas ("Biplot") de los resultados del análisis de componentes principales. Eje 1 en las abscisas y eje 2 en las ordenadas. a) ilustra la organización de las muestras (M=de raíz de manglar, B=de fondos arenosos). Los ambientes están separados por dos líneas verticales localizadas en función de las muestras ubicadas en los extremos (superior para manglares e inferior para bajos) en relación al eje 1. Las flechas indican la relación de la profundidad y la salinidad con los ambientes como resultado de la regresión múltiple. Los valores se encuentran en el cuadro 3. b) ilustra la organización de las especies ubicadas por el número correspondiente. En la zona de mezcla se colocaron \* en vez del número para facilitar la visualización de las especies extremas.

Lo anterior significa que hay más especies estrechamente asociadas a los bajos y un número menor ligado a los manglares. Por ejemplo, *Caulerpa verticillata* (15), conspicua en manglares, se encuentra en el extremo izquierdo superior. *Laurencia gemmifera* (64), *Batophora oerstedii* (10), *Acetabularia crenulata* (6), *Penicillus lamourouxii* (30) y *Griffithsia tenuis* (58), especies ubicadas al lado derecho inferior, son evidentes en los bajos.

Para saber si la variación de la flora, reunida en los ejes 1 y 2, tiene relación con algún gradiente ambiental se aplicó un análisis de regresión múltiple.

Las variables ambientales en conjunto exhibieron una relación significativa con el eje 1 ( $R^2=0.55$ ,  $F=(5, 22)$  5.4,  $P=0.002$ ) y no significativa con el eje 2. Las variables que mostraron una importancia relativa en dicho análisis, evaluadas según sus correlaciones parciales, fueron la profundidad y la salinidad. La primera presentó una relación inversa con el eje 1 ( $r=-0.56$ ,  $F=12.09$ ,  $P=0.002$ ) y la segunda una relación directa ( $r=0.48$ ,  $F=7.87$ ,  $P=0.009$ ).

## DISCUSION

Los géneros de algas encontrados en Nichupté han sido descritos para la región del Caribe con anterioridad (Díaz-Pifferrer, 1969; Littler et al., 1990). En particular, el conjunto de las especies en las raíces de manglar mencionadas por Van den Hoek et al. (1972) para las bahías de Curaçao, por Suárez (1989) y Jiménez (1990) para las costas de Cuba y por Rodríguez y Stoner (1990) para Puerto Rico, es semejante al de la flora que se presenta en el mismo ambiente en el sistema estudiado.

Con respecto a las especies que caracterizan las raíces de manglar fuera de la región caribeña, el SLN contrasta con lo mencionado comúnmente para estos ambientes. Por ejemplo, Sánchez (1963), en las costas mexicanas del Atlántico y Pacífico, Oliveira (1984) en el Atlántico brasileño, King (1990) en las costas de Guinea y West et al. (1992) en el Pacífico mexicano, describen al complejo *Bostrychietum* (compuesto por algas de los géneros *Bostrychia*, *Caloglossa* y *Catenella*) como la combinación de especies universalmente presente en los manglares. Sin embargo en el SLN estas plantas están ausentes.

En las descripciones de los trabajos citados contrasta la transparencia del agua del Caribe con los ambientes predominantemente fangosos de las otras regiones. Esto significa que las características de las zonas del Caribe, y en particular del SLN, no son típicas de lagunas costeras. Son ambientes donde la transparencia del agua y las bajas concentraciones de nutrientes, típicas de las aguas caribeñas, propician distintos crecimientos algales.

Con base en lo anterior podemos decir que la ficoflora del SLN parece estar asociada a la región más que al tipo de condiciones de la laguna costera.

Como resultado de los análisis realizados en la búsqueda de algún patrón de distribución de las algas en el SLN (ACP y pruebas estadísticas), se observa que el substrato constituye un factor determinante y así, es posible decir que en términos ficoflorísticos existen dos ambientes generales que cabe distinguir en el área de estudio: los bajos arenosos y las raíces de mangle; entre éstos existe un continuo ecotonal donde se pueden presentar especies de cada uno de ellos.

Aunque esta división se refiere al hecho de que hay asociaciones de especies semejantes para los diferentes ambientes (bajo, raíz de mangle y mezcla), a nivel de cada

una de ellas, se observa que unas algas crecen exclusivamente sobre arena (como *Penicillus lamourouxii*) y otras en raíces de mangle (como *Caulerpa verticillata*). Por otro lado, existen varias especies a las que el sustrato no limita su presencia en alguno de los dos ambientes, como *Rhizoclonium kernerii* o *Acanthophora spicifera*. De hecho 58% de las especies está limitado por el sustrato y 42% no lo está.

A partir de esto surgen varias preguntas sobre la relación entre el sustrato y la flora presente. Algunas especies asociadas a los bajos arenosos tienen una morfología que las diferencia de la de las epífitas de los manglares. Entre otras, las estructuras de fijación al sustrato en *Penicillus* y *Udotea flabellum*, son sistemas de rizoides que se entierran en la arena, los talos son calcificados, lo que les da cierta rigidez y les permite mantener una posición erecta en la columna de agua y su crecimiento es unitario. Por el contrario, *Caulerpa verticillata* tiene prolongaciones celulares suaves y cortas que le permiten adherirse a la raíz del mangle y su crecimiento es por estolones formando manchones cerrados. Adicionalmente los talos encontrados en las raíces del mangle en general no son calcificados y flotan suavemente en la columna de agua, como por ejemplo en *Spyridia filamentosa* o *Polysiphonia flaccidissima*.

Por otro lado, se observa que existen especies, como *Acanthophora spicifera* o *Cladophora montagneana*, que crecen en ambos tipos de ambientes. La pregunta que surge es ¿qué sucede con las especies cuya morfología no limita su distribución?. Se puede buscar la respuesta a través de estudios sobre relaciones interespecíficas. Por ejemplo, plantas pequeñas como *Ceramium byssoideum*, que se encontraron creciendo sobre *Halimeda tuna*, que les ofrece un buen sustrato, no dependen de la presencia de manglar o de arena.

El análisis de la diversidad de especies en cada ambiente general muestra que los bajos presentan un mayor número de especies que las raíces de manglar. Esto se explica por el hecho de que en los bajos varias algas son epífitas de otras con talos erectos y por lo tanto la distribución de las primeras no tendrá relación con el sustrato sino con la presencia de la especie hospedera.

A pesar de no haber realizado observaciones sobre posibles depredadores de las algas, es probable que la herbivoría constituya otro factor que participa en la estructuración de las comunidades (Hay, 1981; Lewis, 1986; Lewis et al., 1987), y que tenga un peso importante en la distribución de las algas del SLN.

Los resultados muestran una correlación entre la variación de la flora y la de los factores ambientales medidos; de ellos, la profundidad resultó altamente significativa y en menor grado lo fue la salinidad. La altura de la columna de agua se incrementa hacia la zona de los manglares y disminuye en los bajos arenosos (Fig. 2a). Lo anterior implica que la flora podría ser afectada por diferencias de la incidencia lumínica, la cual se modifica con la profundidad y con la presencia del follaje del mangle. Los bajos se caracterizan por ser someros y estar expuestos totalmente a la luz y las raíces de manglar por ser sombreadas y profundas.

La salinidad aumenta en las zonas de bajos y disminuye en las de manglares dado que éstos se encuentran en la orilla este, donde existe el efecto de aportes dulceacuícolas subterráneos, en tanto que los bajos predominan en la zona oeste, en la cual el agua es prácticamente marina (Cuadro 2).

La escasa relación encontrada entre la distribución de las algas y la de la salinidad se debe a que en la época en que se trabajó ésta no presentó grandes diferencias, como

suele suceder en la temporada de secas (Merino et al., 1988). Estos resultados muestran que en el SLN no existe una distribución ficoflorística asociada al gradiente de salinidad, como lo descrito por Mathieson y Penniman (1986), y Zechman y Mathieson (1985) para estuarios típicos donde dichos gradientes son muy marcados.

Respecto al hecho de que el SLN es una laguna costera sujeta a fuertes presiones ambientales, con los resultados obtenidos no es posible relacionar la distribución de la flora a la cercanía o lejanía de las fuentes de impacto. Las especies se agruparon con relación al sustrato y no a la ubicación geográfica o proximidad con la zona hotelera de Cancún. Sin embargo, Collado-Vides y González-González (1993) mencionan que hay un marcado crecimiento de algas filamentosas en la Laguna de Bojórquez y lo asocian a la perturbación que esta laguna está sufriendo. Algunas de tales algas presentan un incremento en su biomasa y se desprenden del sustrato original para formar masas flotantes que posteriormente se depositan en los fondos de las lagunas ocasionando cambios en las condiciones naturales del SLN. Esto refleja el impacto que ocasiona el desarrollo turístico de Cancún a nivel ficoflorístico. La presencia de las masas flotantes de algas se observó únicamente en la Laguna de Bojórquez y Laguna Mediterránea, lo cual sugiere que la afectación ambiental fuerte aún no se detecta en el resto del SLN.

## CONCLUSIONES

El presente estudio contribuye a ampliar el conocimiento sobre la ficoflora asociada a las raíces de manglar, ambiente antes caracterizado por el complejo *Bostrychietum* (Post, 1936; King y Puttock, 1989).

Este trabajo demuestra que existe un patrón de distribución de la ficoflora en función del sustrato (bajos y raíces de manglares). La morfología de varias de las especies muestreadas se correlaciona con su distribución en el SLN.

Sin embargo, hay especies cuya distribución no puede ser explicada en función del sustrato; los autores sugerimos que la respuesta al patrón encontrado puede buscarse a través de las relaciones interespecíficas existentes en el SLN.

Del análisis de los factores ambientales se desprende que hay una relación de la distribución de la flora con la profundidad y con la salinidad.

Debido a que el SLN se encuentra bajo los efectos del crecimiento turístico de Cancún, será necesario abordar, además de los estudios ya sugeridos, los aspectos particulares de impacto ambiental. Otros trabajos describen la formación de masas flotantes de algas en los cuerpos de agua más afectados. Los autores sugerimos hacer una investigación que incluya el seguimiento de las algas que forman las masas flotantes. Esto permitirá proponer alternativas para el manejo del SLN.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo deseamos agradecer el apoyo brindado por la Estación Puerto Morelos, del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, al permitirnos utilizar sus instalaciones para el trabajo de campo.

A la Dra. Elisa Serviere y al Biól. Carlos Candelaria por su ayuda en la recolecta del material. A la Dra. Dení Rodríguez y los revisores anónimos por sus sugerencias y comentarios para mejorar el manuscrito.

#### LITERATURA CITADA

- Collado-Vides, L. 1989. Estudio ecológico de las algas filamentosas como un grupo funcional de la laguna de Bojórquez, Cancún. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 102 pp.
- Collado-Vides, L. y J. González-González. 1993. Macroalgas del Sistema Lagunar de Nichupté. In: Salazar-Vallejo, S. y N. González (eds.). Biodiversidad marina y costera de México. CIQRO-CONABIO. México, D.F. pp. 752-760.
- Díaz-Pifferrer, M. 1969. Distribution of the marine benthic flora of the Caribbean Sea. *Caribb. J. Sc.* 9: 151-178.
- Ezcurra, E. 1984. The vegetation of El Pinacate, Sonora. A quantitative study. Ph. D. thesis. University College of North Wales. Bangor. 117 pp.
- Ezcurra, E., R. Felger, A. Russell y M. Equihua. 1988. Freshwater islands in a desert sand sea: The hydrology, flora, and phytogeography of the Gran Desierto oases of Northwestern Mexico. *Desert Plants* 9: 35-44; 55-63.
- García-Krasovsky, R. 1985. Saneamiento ambiental de la Laguna de Bojórquez, y Caleta Cancún, Q. Roo. Informe técnico para Fondo Nacional para el Turismo por parte de Ingeniería del Medio Ambiente, S.A. México, D.F. 200 pp.
- Gower, J. C. 1966. Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. *Biometrika* 53: 323-338.
- Hay, M. 1981. Spatial patterns of grazing intensity on a Caribbean barrier reef: herbivory and algal distribution. *Aquatic Botany* 11: 97-109.
- Hillis-Colinvaux, L. 1980. Ecology and taxonomy of *Halimeda*: primary producer of coral reefs. *Adv. Mar. Biol.* 17: 1-327.
- Jiménez D., C. 1990. Macroalgas y fanerógamas marinas de la macrolaguna del Golfo de Batabanó. In: Alcolado, P. (ed.). El bentos de la macrolaguna del Golfo de Batabanó. Editorial Academia. La Habana. pp. 14-17.
- Jordán E., M. Angot y R. Torre. 1978. Prospección biológica de la Laguna de Nichupté, Cancún, Q. Roo, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México* 51: 179-188.
- Kapraun, D. F., A. J. Lemus y G. Bula-Meyer. 1983. Genus *Polysiphonia* (Rhodophyta, Ceramiales) in the tropical western Atlantic: I. Colombia and Venezuela. *Bull. Mar. Sci.* 33: 881-898.
- King, R. J. 1990. Macroalgae associated with the mangrove vegetation of Papua, New Guinea. *Botanica Marina* 33: 55-62.
- King, R. J. y C. F. Puttock. 1989. Morphology and taxonomy of *Bostrychia* and *Stictosiphonia* (Rhodomelaceae /Rhodophyta). *Australian Systematic Botany* 21: 1-73.
- Lewis, S. M. 1986. The role of herbivorous fishes in the organization of a Caribbean reef community. *Ecol. Monogr.* 56: 183-200.
- Lewis, S. M., J. Norris y R. Searles. 1987. The regulation of morphological plasticity in tropical reef algae by herbivory. *Ecology* 68: 636-641.
- Littler, D. S. y M. M. Littler. 1985. Phycological methods: ecological field methods: macroalgae. Cambridge University Press. Cambridge. 617 pp.
- Littler, D. S. y M. M. Littler. 1990. Systematics of *Udotea* species (Bryopsidales, Chlorophyta) in the tropical Western Atlantic. *Phycologia* 29: 206-252.
- Littler, D. S., M. M. Littler, K. Bucher y J. Norris, 1990. Marine plants of the Caribbean. *Smithson. Inst. Press. Washington, D.C.* 263 pp.

- Mathieson, A. C. y C. A. Penniman. 1986. Species composition and seasonality of New England seaweeds along an open coastal-estuarine gradient. *Botanica Marina* 29: 161-176.
- Merino, I. y M. Gallegos. 1986. Evaluación del impacto ambiental generable sobre el Sistema Lagunar Nichupté por el dragado programado para rellenar el Lote 18-A en Cancún, Q. Roo. Informe Técnico para la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 87 pp.
- Merino, I., E. Jordán, O. Chávez, P. Thome, O. Moreno y S. Czitrom. 1988. Hydrology and rain flushing of the Nichupté Lagoon System, Cancún, México. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 30: 223-237.
- Oliveira, E. 1984. Brazilian mangal vegetation with special emphasis on seaweeds. In: Por, F. D. e I. Dor (eds.). *Hydrobiology of Mangal*. W. J. Pub. La Haya pp. 55-65.
- Post, E. 1936. Systematische und pflanzengeographische Notizen zur *Bostrychia-Caloglossa* Assoziation. *Revue Algologique* 9: 1-84.
- Rodríguez, C. y A. Stoner. 1990. The epiphyte community of mangrove roots in a tropical estuary: distribution and biomass. *Aquatic Botany* 36: 117-126.
- Sánchez, M. E. 1963. Datos relativos a los manglares de México. *An. Esc. Nac. Cienc. Biol. Méx.* 12: 61-72.
- Schnetter, R. 1978. *Marine Algen der Karibischen Küsten von Kolumbien II. Chlorophyceae*. Ed. Cramer. Berlin. 198 pp.
- Serviere-Zaragoza, E. 1986. Estudio prospectivo de la flora ficológica de la laguna de Bojórquez, Cancún. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 256 pp.
- Serviere-Zaragoza, E., L. Collado-Vides y J. González-González. 1992. Caracterización ficológica de la Laguna de Bojórquez, Quintana Roo, México. *Carib. J. Sci.* 28: (3-4): 126-136.
- Suárez, A. M. 1989. Algas asociadas a las raíces de *Rhizophora mangle* L. en cayos al este de la Isla de la Juventud, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas* 10 (2): 177-123.
- Taylor, W. R. 1960. *Marine algae of the eastern tropical and subtropical coasts of the Americas*. The University of Michigan Press. Ann Arbor, Michigan. 870 pp.
- Ter Braak, C. 1983. Principal components biplots and alpha and beta diversity. *Ecology* 64: 454-462.
- Van den Hoek, C. 1982. A taxonomic revision of the American species of *Cladophora* (Chlorophyceae) in the North Atlantic Ocean and their geographic distribution. *Verh. Kon. Ned. Akad. Wetensch. Afd. Natuurk 2e reeks*. North-Holland Pub. Amsterdam. 236 pp.
- Van den Hoek, C., A. M. Cortel-Breeman y J. B. W. Wanders. 1972. Algal vegetation-types along the shores of inner bays and lagoons of Curaçao, and of the lagoon Lac (Bonaire), Netherlands Antilles, TWEDE REEKS, DEEL 61 # 2 (publicación especial). Amsterdam. 72 pp.
- West, J. A., G. C. Zuccarello, F. F. Pedroche y U. Karsten. 1992. Marine red algae of the mangroves in Pacific Mexico and their polyol content. *Botanica Marina* 35: 567-572.
- Wynne, M. J. 1986. A checklist of benthic marine algae of the tropical and subtropical western Atlantic. *Canadian J. Bot.* 64: 2239-2281.
- Zechman, F. W. y A. C. Mathieson. 1985. The distribution of seaweed propagules in estuarine, coastal and offshore waters of New Hampshire, U.S.A. *Botanica Marina* 28: 283-294.