

Variaciones del fitoplancton en cuatro lagunas costeras del Estado de Yucatán, México

¹Jorge A. Herrera-Silveira,²Mayte Martín B. y ¹Verónica Díaz-Arce.

¹ CINESTAV-IPN. Ant. Carr. Progreso km 6, Mérida 97310 Yucatán, México.
E-mail: jherrera@kin.cieamer.conacyt.mx. Fax: 99812917; 99812919.

² Depto. de Ecología, Univ. de Barcelona. Avda. Diagonal 645, Barcelona, 08028, España.

Recibido 14-I-1999. Corregido 12-III-1999. Aceptado 12-IV-1999.

Abstract: The Yucatan State, SE Mexico, shows unique geohydrological conditions which favoured the presence of coastal lagoons with different salinity gradients. Celestun lagoon shows an oligohaline-marine pattern (10-38psu), in Chelem lagoon the salinity is marine-hiperhaline (32-48psu), while Dzilam is polihaline-marine (20-36psu), and Rio Lagartos is polihaline-hiperhaline (28-120psu). The objective of this study was identify the space and seasonal changes of the dominants groups of phytoplankton in these lagoons, and relate them to hydrological characteristics. At this time, 466 taxa hare been recognized for the four lagoons. Celestun is dominated by Bacillariophyta and Pyrrophyta, in Chelem and Dzilam the dominant group is Bacillariophyta, while in Rio Lagartos is Cyanobacteria, suggesting that differences among lagoons are related to the water exchange between the lagoon and sea, and the groundwater discharges as the dominant factors.

Key words: Coastal lagoon, phytoplankton, groundwater, hydrology, salinity patterns, Yucatan.

Las lagunas costeras de Yucatán (SE, México) son depresiones marginales de la costa separadas del mar por una barrera de arena, conocida como "isla de barrera", que varía en ancho de unos cuantos metros hasta más de un kilómetro, y está formada por depositación de sedimentos producto del oleaje y corrientes litorales (Lankford 1977). La comunicación con el mar de estos ecosistemas es a través de una o más entradas naturales o artificiales, lo cual favorece el intercambio de agua, nutrientes, materia orgánica y el desplazamiento de organismos, convirtiéndolas en importantes ecosistemas para la zona marina adyacente. Sin embargo, por estar localizadas en una zona de características cársticas y alta permeabilidad de los suelos, estos ecosistemas carecen de aportes superficiales de agua dulce, recibiendo descargas subterráneas en forma de manantiales, los cuales difieren hi-

drológicamente de las descargas de ríos (Herrera-Silveira 1994a).

A pesar de compartir características geológicas y climatológicas similares, las lagunas costeras de Yucatán presentan diferencias importantes en cuanto al balance agua dulce/agua marina, favoreciendo variaciones en los gradientes físicos y químicos de la columna de agua de cada laguna, muy asociados al patrón climático de la zona (Herrera-Silveira y Ramírez 1998).

Entre los componentes estructurales de los ecosistemas acuáticos, el fitoplancton destaca como indicador de la calidad del agua en los análisis a nivel de población y comunidad. También ha sido útil para caracterizar el potencial productivo del sistema y en este contexto pueden identificar, no sólo especies clave para la comunidad y zonas de importancia biológica, sino que proveen un excelente antecedente para el monitoreo de los cambios asociados al régi-

men climático e hidrológico a diferentes escalas temporales y espaciales (Kjerfve 1994).

La mayoría de los estudios de fitoplancton en lagunas costeras del Golfo de México describen las relaciones entre las concentraciones de clorofila *a* y sus tasas de producción con algunas variables hidrológicas (Castañeda y Contreras 1994), sin abordar su heterogeneidad regional. Bajo este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo la caracterización de la composición de los grupos dominantes de fitoplancton entre lagunas costeras de Yucatán, con énfasis en sus variaciones estacionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: El clima en la zona en la que se localizan las cuatro lagunas es cálido semi-árido con temperatura media anual entre 25 y 28 °C, con precipitaciones anuales de 550 a 800 mm. En esta zona hay dos épocas climáticas: secas (marzo-mayo), y lluvias (junio-octubre), sin embargo, de noviembre a febrero se presentan frentes caracterizados por fuertes vientos (>80 km h⁻¹), escasa precipitación (20-60 mm) y bajas temperaturas (<22 °C), los cuales son llamados localmente "nortes" (Herrera-Silveira y Ramírez 1998).

Laguna Celestún: La laguna Celestún es paralela a la línea de costa, localizada en el extremo noroeste de la península (20° 45' N, 90° 15' W), es larga, somera (profundidad media = 1.5 m) y rodeada de vegetación de manglar bien desarrollada. La comunicación con el mar es a través de una boca de 410 m de ancho. El gradiente de menor salinidad en el interior (5-15psu) y mayor (33-38psu) en la boca indica

que la zona interna recibe aportes de agua dulce provenientes de los manantiales (Herrera-Silveira 1994a). El conflicto ambiental más importante que enfrenta es la obstrucción de flujos de agua por un bordo-puente construido en la zona media de la laguna. Actualmente, la intensa actividad turística ha deteriorado la vegetación sumergida de la cual dependen el flamenco (*Phaenicopterus ruber ruber*) y especies de importancia comercial (Herrera-Silveira y Comín 1995).

Laguna Chelem: La laguna Chelem se encuentra al norte de la Península de Yucatán (21°N, 91°W) (Fig.1). Su longitud es de 14.7 km, 1.8 km de ancho máximo y con 15 km² de superficie (Cuadro 1). La boca es artificial con 225 m de ancho, la cual da acceso al Puerto de Yucalpetén. Al igual que Celestún es somera (profundidad media = 1.4 m), su eje principal se encuentra en dirección este-oeste. En su rívera norte se ubica la mayor densidad de población de toda la costa del Estado desarrollándose las poblaciones de Chuburná, Chelem, Yucalpetén y Progreso. Además, incluye al mayor puerto de desembarco y resguarda 90% de la flota pesquera mayor del Estado. El principal aporte de agua dulce al sistema es a través de la precipitación y algunos manantiales, ya que la mayoría de éstos han sido separados del cuerpo de agua principal por la construcción de carreteras, observándose salinidades mayores a las del mar (Valdés y Real 1994).

Laguna Dzilam: Está localizada en el centro norte de la península (21° 26' N, 88° 42' W) y como las otras lagunas, es un ecosistema somero (profundidad media = 1.2 m) alargado, paralelo a la línea de costa y bordeado por manglar. Este

CUADRO 1

Características morfométricas de las lagunas costeras de Yucatán, calculadas de acuerdo con Hutchinson (1957), usando fotografías aéreas de 1994 de escala 1:20,000 y mapas batimétricos

	Celestún	Chelem	Dzilam	Río Lagartos
Area (km ²)	28	13.6	9.4	96
Volumen medio (m ³)	33 x 106	16.3 x 106	11.2 x 106	76.8 x 106
Intervalo de profundidad	0.5-2.5	0.7-5.5	0.7-1.5	0.4-3.5
Largo máximo (km)	20.7 (N-S)	14.7 (E-W)	12.9 (E-W)	80 (E-W)
Ancho máximo (km)	2.1 (E-W)	1.8 (N-S)	1.6 (N-S)	1.5 (N-S)

sistema es el que menor impacto ha recibido debido a lo difícil de su acceso, ya que no existen vías terrestres para llegar a él, y la única forma de acceder a este sitio es por vía marítima. Al igual que las dos lagunas anteriores, está influenciada por las mareas y las descargas de agua dulce que son mayores que en Chelem, pero menores que en Celestún, variando la salinidad entre 20 y 38psu (Herrera-Silveira *et al.* 1995).

Laguna Río Lagartos: Esta laguna es la de mayor tamaño de Yucatán (Cuadro 1). Localizada en el extremo este del Estado (21° 38' N, 87° 41' W), es la única que presenta tres bocas de intercambio con el mar comunicando a los puertos de San Felipe y Río Lagartos. Es además, el único sistema que presenta zonas claramente hipersalinas (>40psu) favorecidas por lo somero del sistema (profundidad media < 1 m), lo localizado de su comunicación con el mar, ya que las tres bocas se ubican en su extremo oeste, las mayores tasas de evaporación (1900 mm) que de precipitación (600 mm) y el bajo volumen de descargas de agua dulce en el cuerpo de agua. La laguna está bordeada por vegetación de duna y de manglar deteriorado; es un sistema con nivel

medio de impacto debido a las actividades industriales que se llevan a cabo en una de sus cuencas (Herrera-Silveira *et al.* 1995).

Trabajo de campo y laboratorio: Para la obtención de las muestras se realizaron doce campañas de muestreo en total, tres en cada laguna, una por cada época climática (lluvias-octubre; nortes-enero; secas-mayo). Las muestras fueron recolectadas en diez estaciones distribuidas a lo largo de cada una de las cuatro lagunas. En cada estación se midió la profundidad con un profundímetro modelo SM-5, transparencia con un disco de Secchi de 30cm, temperatura y salinidad del agua fueron medidas utilizando una sonda multiparámetro YSI-85. Por lo que respecta a las variaciones en las concentraciones de nutrientes inorgánicos, así como a los tiempos de residencia del agua de cada laguna, estos fueron tomados de Herrera-Silveira y Ramírez 1998 y de Herrera-Silveira y Comín 1998, respectivamente.

Con el propósito de realizar el análisis cuantitativo y cualitativo del fitoplancton, se obtuvo una muestra de 250 ml con una botella VanDorn de 2.5 l de capacidad en cada esta-

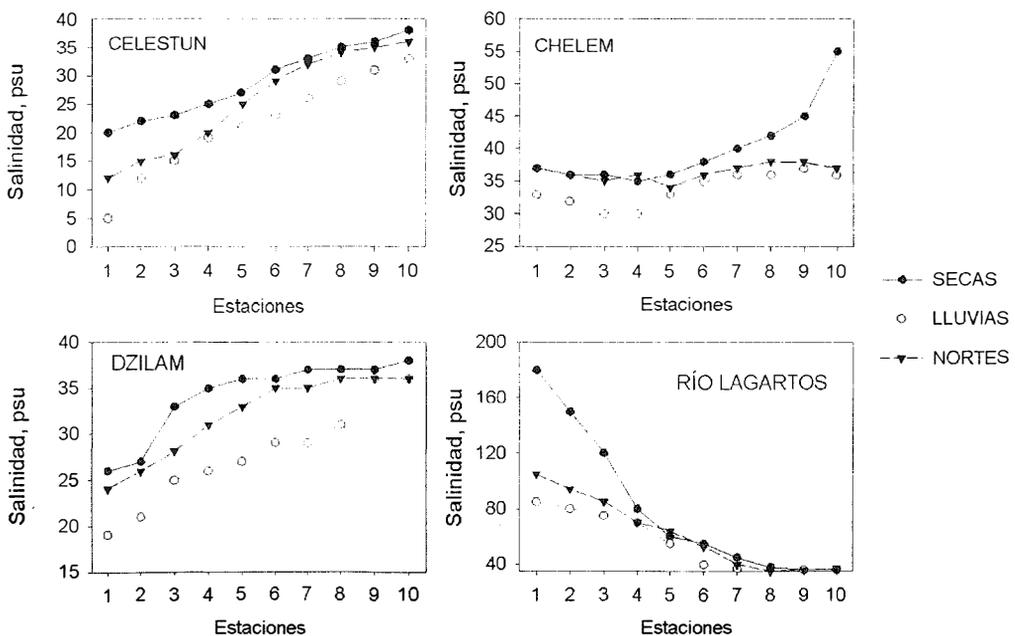


Fig. 1. Variaciones espacio-temporales de la salinidad de las lagunas de Yucatán.

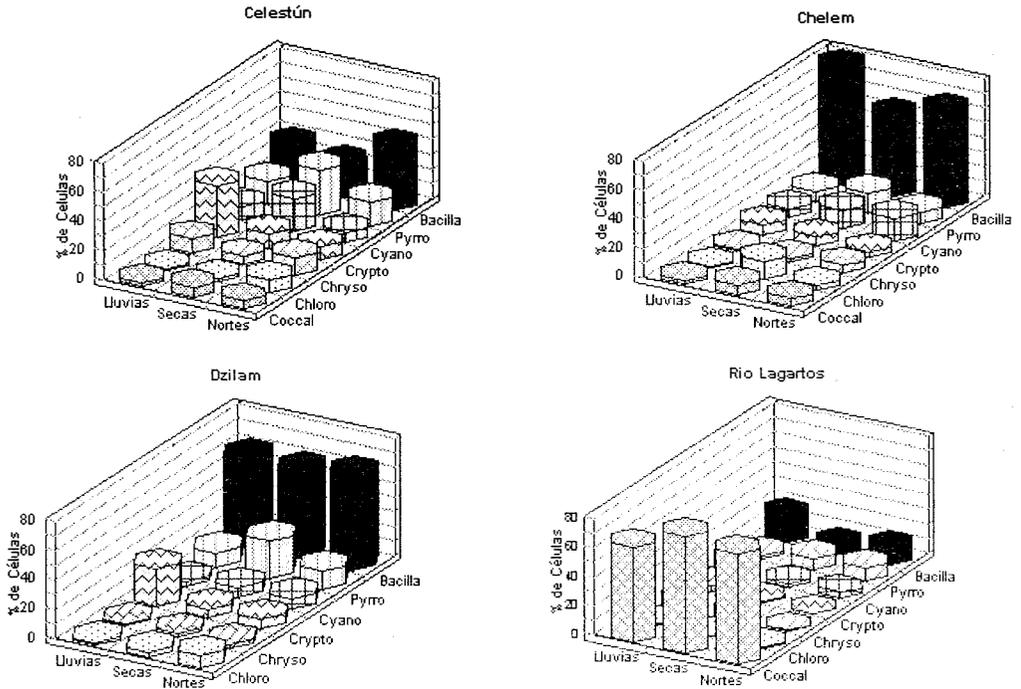


Fig. 2. Variación estacional de la contribución relativa (%) de los grupos de fitoplancton en las lagunas costeras de Yucatán.

ción a nivel medio de la columna de agua, las muestras se fijaron con solución de acetato de lugol. La abundancia de los fitopláncteres se obtuvo por el método de conteo con microscopio invertido (Hasle 1978) utilizando columnas de sedimentación de 100 ml. La identificación de los fitopláncteres fue con la ayuda de bibliografía especializada (Cupp 1943, Wood 1954, Hendey 1964, Patrick y Reimer 1966, Ferguson 1968, Bourrelly 1970, 1972, 1981, Taylor 1976, Caljon 1983, Balech 1988, Chrétiennot-Dinet *et al.* 1990, Round *et al.* 1990, Licea *et al.* 1995, Moreno *et al.* 1996).

RESULTADOS

Celestún: La zona de mayor profundidad se observó en la boca de la laguna con 2.9 m y la más somera en la zona interna con 1.10 m, el promedio de profundidad para la laguna fué de 1.58 m. La transparencia presentó diferencias espaciales, observándose la mayor transparencia en la zona media (100%) y la menor

en áreas cercanas a la boca (33%), con una media de 58%. La temperatura tuvo un valor promedio de 27°C, encontrándose la mayor en la boca (28°C) y la menor en las estaciones de la zona media con 20°C. Por lo que respecta a la salinidad, su concentración media fué de 22.3 psu observándose un gradiente de bajas salinidades en la zona interna (5psu en la estación 1) y altas salinidades en la región de la boca (38 psu en la estación 10) (Fig. 1), por lo que Celestún se puede clasificar como un sistema que varía de oligohalino a marino de acuerdo al sistema de Venecia (Fig. 1).

En cuanto al fitoplancton, se han registrado 150 especies con densidades de 2.8×10^7 cél/l en lluvias a 6.3×10^7 cél/l durante la época de nortes. En relación con los grupos dominantes, en la época de lluvias lo son las algas de las divisiones Cryptophyta y Bacillariophyta, en la época de secas codominan los grupos Pyrrophyta, Cianobacteria y Bacillariophyta, mientras que durante la época de nortes el grupo dominante corresponde a Bacillariophyta

CUADRO 2

Valores medios de temperatura, salinidad y transparencia por estación climática de cuatro lagunas costeras de Yucatán (Sec-secas, Llu-lluvias, Nor-nortes).

	CELESTÚN			CHELEM			DZILAM			RÍO LAGARTOS		
	Sec	Llu	Nor	Sec	Llu	Nor	Sec	Llu	Nor	Sec	Llu	Nor
Temp, °C	34	30	20	39	28	19	36	29	21	38	30	22
Sal, psu	30	21	27	43	30	37	37	25	33	80	53	62
Trans, %	45	80	40	100	70	40	100	90	50	55	90	45

(Fig. 2). Como puede observarse, existe alterancia en la dominancia de los grupos principales de fitoplancton en Celestún. Durante la época de lluvias las descargas de agua dulce disminuyen la salinidad hasta 5psu en la parte interna lo cual favorece el desarrollo de géneros menos tolerantes a altas salinidades del tipo *Microcystis* (Kützing 1833) y *Gomphosphaeria* (Kützing 1836); para esta zona se reportan altas concentraciones de nitratos (80 μM) y sílice soluble reactivo (350 μM); sin embargo, en la zona de la boca se observa la influencia de la marea resuspendiendo nutrientes y el grupo de diatomeas marinas (*Rhizosolenia setigera* (Brightwell), *Chaetoceros perpusillus* (Cleve), *Licmophora remulus* (Grunow 1867) y *Thalassiosira sp.* (Cleve 1873)) dominan en esa zona.

En la época de secas se han determinado altas concentraciones de materia orgánica particulada (150 mg/l), altas temperaturas (38°C) y bajas concentraciones de nutrientes (10 μM de nitratos, 5 μM de sílice soluble reactivo), favoreciendo la presencia de especies representantes de los grupos Cianobacteria (*Merismopedia glauca* (Naegeli, 1849), *M.punctata* (Meyen, 1839) y *Chroococcus turgidus* (Naegeli, 1849) y Pyrrophyta (*Gymnodinium sp.* (Stein, 1878), *Prorocentrum micans* (Ehrenberg, 1833), *P. minimum* (Schiller, 1933), *Ceratium furca* (Claparède y Lachmann, 1858) y *Amphidinium sp.* (Claparède y Lachmann).

Sin embargo, durante la época de nortes debido a la mayor influencia sobre el gradiente de salinidad en la laguna del tipo marino se observa una clara dominancia de géneros de Bacillariophyta (*Cyclotella sp.* (Kützing, 1833), *Striatella sp.* (Agardh, 1832), *Campylo-discus sp.* (Ehrenberg y Kützing, 1844) y *Coscinodiscus sp.* (Ehrenberg, 1838).

Chelem: La batimetría de esta laguna está asociada a la infraestructura portuaria de la zona, ya que la mayor profundidad se observó en la estación 10 con 3.75 m donde se encuentra el puerto de abrigo y la menor en las estaciones internas con 0.5 m, siendo la profundidad media de 1.5 m. La transparencia fue total (100%) durante la época de secas en toda la laguna a excepción de la dársena (45%). La menor transparencia en relación con la profundidad se registró en la época de nortes en las estaciones internas (<30%), en general la columna de agua presentó características de mayor transparencia que Celestún. La temperatura del agua fue mayor en la época de secas (31°C) y menor durante la de nortes (20°C) con una media de 26°C. Por lo que respecta a la salinidad, su concentración media fue de 32psu, siendo menor en la época de lluvias (29psu) y mayor en la época de secas (55psu). A este respecto, Chelem presentó un patrón de comportamiento marino-hiperhalino (Cuadro 2).

Por lo que respecta al fitoplancton de Chelem, se han registrado 101 especies, variando sus densidades de 2.7 x 10⁷ cél/l en la época de nortes a 5.3 x 10⁷ cél/l en la época de secas. En este sistema se encuentra dominando claramente el grupo Bacillariophyta (48 especies, siendo los géneros más abundantes *Cyclotella sp.*, *Chaetoceros sp.* (Ehrenberg 1845), *Hannaea sp.* (Patrick 1966) y *Thalassiosira sp.*) (Cuadro 3). En la época de secas los grupos Pyrrophyta, Cianobacteria y Chlorophyta son frecuentes, mientras que durante la época de nortes el grupo Cianobacteria es relativamente abundante (Fig. 2).

Durante la época de lluvias ocurre un incremento en la concentración de nitratos y sílice soluble reactivo que favorece a las diatomeas. En la época de secas, favorecidos por al-

CUADRO 3

Contribución relativa en porcentaje (%) de los diferentes grupos de fitoplancton en las lagunas costeras de Yucatán.

	CELESTÚN	CHELEM	DZILAM	RIO LAGARTOS
Bacillariophyta	31.4	66.3	60.4	10.9
Pyrrophyta	20.7	9.2	15.6	6.4
Cyanobacteria	18	11.2	5.5	79.3
Cryptophyta	17.2	5.2	12.1	1.9
Chrysophyta	9	2.8	2	1.2
Chlorophyta	3.5	5.3	4.4	0.3

tas concentraciones de nutrientes, en este caso fosfatos y amonio dominan los grupos Chlorophyta (*Treubaria* sp. (Bernard, 1908), Pyrrophyta (*Gymnodinium* sp.) y Cyanobacteria (*Microcystis* sp.) en estaciones localizadas cercanas a la zona urbana e industrial. El aporte de nutrientes durante la época de nortes favorece al grupo Cyanobacteria (*Microcystis* sp.).

Dzilam: La batimetría es muy homogénea con profundidades entre 1.2 y 1.5 m y sólo en la boca alcanza 2.5 m. La transparencia es alta durante gran parte del año y en casi todo el sistema. Al igual que los otros sistemas, los vientos durante la época de nortes disminuyen la transparencia hasta en un 50%. La temperatura sigue el mismo patrón con temperaturas mayores durante la época de secas (35°C) y menores durante la estación de nortes (19.5°C, estación 9). Por lo que respecta a la salinidad, su concentración media fué de 26.5 psu, con la menor concentración media en la época de lluvias (25 psu) y la mayor salinidad media en la época de secas (37 psu). A éste respecto la laguna de Dzilam presentó un patrón de comportamiento polihalino-marino.

La comunidad de fitoplancton en Dzilam está representada por 135 especies con densidades entre 3.1×10^7 cél/l en la época de secas a 4.8×10^7 cél/l durante la época de lluvias. El grupo dominante es el Bacillariophyta (Cuadro 3) (55 especies, siendo las más abundantes *Nitzschia closterium* (Smith, 1841), *Mastogloia smithii* (Smith, 1856), *Navicula* sp. (Bory, 1822) y *Licmophora* sp. (Agardh, 1827). En la época de lluvias el grupo Cryptophyta (*Hemiselmis rufescens* (Parke, 1949), así como cuatro especies no identificadas del género *Rhodomonas* sp. (Hill y Wetherbee 1989) son frecuentes en el sistema; sin embar-

go, en la época de secas el grupo Pyrrophyta es relativamente abundante (Fig. 2). Por lo que respecta a la época de nortes, además de las diatomeas son frecuentes organismos de Pyrrophyta (*Prorocentrum micans*, *Protoperidium* sp. (Bergh, 1881) y *Peridinium* sp. (Stein, 1883) y Chlorophyta (*Chlorella vulgaris* (Beyerinck, 1890).

Río Lagartos: La laguna de Río Lagartos es somera (0.4 a 3.5m) y con restringida comunicación con el mar a pesar de sus tres bocas, las cuales están todas ellas localizadas en su extremo este. Presenta una temperatura máxima de 34°C y una mínima de 18°C con una media de 26.9°C. En este sistema se observan bajos intervalos de mareas (0.2 a 0.8 m), escaso intercambio con el agua de mar abierto ($0.8 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$) y la evaporación (1500 mm) supera a la precipitación (450 mm). El gradiente de salinidad – la característica hidrológica más sobresaliente – es inverso, la zona interna tiene salinidades de hasta 180 psu, la zona intermedia presenta salinidades entre 40 y 80 psu, mientras que la zona marina presenta salinidades entre 36 y 40 psu, por lo tanto, la laguna presenta un patrón de comportamiento que va del marino al hiperhalino. La transparencia es baja en las épocas de secas y nortes (45-65 %), y mayor en la época de lluvias (70-100%).

Por lo que respecta a la comunidad de fitoplancton, se han identificado 80 especies, variando sus densidades entre 3.5×10^7 cél/l en la época de nortes y 4×10^7 cél/l en la época de secas. Este sistema está dominado por géneros de Cyanobacteria (Cuadro 3) (*Gloeotheca* sp. (Naegeli, 1849), y *Gloeocapsa* sp. (Ktzing 1843) y Chlorophyta, la zona intermedia por especies de Pyrrophyta (*Protoperidium* sp.,

Gymnodinium sp., *Prorocentrum micans* y *Scropsiella trochoidea* (Loeblich III, 1976), Bacillariophyta (*Thalassiosira* sp., *Cocconeis* sp. (Ehrenberg, 1835), *Nitzschia* sp. (Hassall, 1845) y Chlorophyta (*Chlorella vulgaris*), mientras que la zona marina la dominan especies de Bacillariophyta (*Chaetoceros* sp., *Licmophora* sp., *Striatella unipunctata* (Agardh, 1832).

DISCUSIÓN

Las diferencias en los grupos dominantes del fitoplancton en las lagunas de Yucatán permiten considerar que las variaciones espacio-temporales de salinidad y dinámica espacial de nutrientes en cada laguna está participando de manera relevante.

En Celestún se presentan bajos tiempos de residencia del agua en la época de lluvias (140-170 días) (Herrera-Silveira y Comín 1998) favoreciendo la presencia de grupos de tallas pequeñas y tasas de duplicación acelerada (Chrysophyta, Cryptophyta) con lo cual se optimiza la utilización del nitrógeno inorgánico disuelto (Herrera-Silveira 1994b). En las épocas de secas y nortes con mayores tiempos de residencia del agua (180-280 días) por mareas y vientos la influencia marina es mayor, los procesos de remineralización y resuspensión de sedimentos reducen la transparencia (40%); el incremento en la temperatura y bajas concentraciones de nutrientes (Herrera-Silveira 1996) determinan el dominio de los grupos Pyrrophyta, Cianobacteria y Bacillariophyta durante la época de secas. Debido a la entrada de nutrientes a la columna de agua vía resuspensión desde los sedimentos y descargas de los manantiales en la época de nortes (Herrera-Silveira 1994a) y a la influencia marina, el grupo de Bacillariophyta es el de mayor abundancia relativa. Las altas concentraciones de nutrientes presentes durante la época de lluvias (Herrera-Silveira 1994b) aunado a la disminución de la salinidad favorecen el desarrollo de los grupos Cryptophyta y Bacillariophyta.

En Chelem los patrones de salinidad tanto espacial como temporales, sugieren que el tiempo de residencia del agua es mayor en las

zonas internas (>250 días) (Herrera-Silveira y Comín 1998) favoreciendo el estado heterotrófico de estas zonas (Valdés y Real 1998) señalado por la concentración oxígeno y nutrientes (Herrera-Silveira y Ramírez 1998; Valdés y Real 1998), estos últimos determinan la mejor representación de los grupos Cianobacteria y Pyrrophyta. En el resto de la laguna de mayor influencia marina dominan las Bacillariophyta; sin embargo, en la zona de la dársena debido a la combinación de descargas de agua dulce, aportes de materia orgánica y menor transparencia, los grupos Chrysophyta y Cryptophyta son relativamente importantes. En esta laguna las concentraciones de oxígeno disuelto y nutrientes inorgánicos sugieren la influencia marina en la dársena y el estado heterotrófico de la zona oeste reflejándose en la comunidad de fitoplancton. La mayor transparencia de Chelem en relación a Celestún, es debido principalmente, a las diferencias en los tipos de sedimentos que dominan, ya que mientras en Celestún dominan los de tipo arcillo-limoso, en Chelem dominan los de tipo areno-limoso (Herrera-Silveira 1994b; Valdés y Real 1994).

Durante la época de lluvias el aumento en la concentración de nutrientes, principalmente nitratos y sílice soluble reactivo (Herrera-Silveira y Ramírez 1998) favorece la mayor abundancia relativa de Bacillariophyta. En época de secas, en estaciones localizadas cercanas a la zona urbana e industrial, las altas concentraciones de fosfatos y amonio sugieren zonas eutróficas (Valdés y Real 1998) donde dominan los grupos Chlorophyta, Pyrrophyta y Cianobacteria. Durante la época de nortes esta condición de eutrofia en sectores de la laguna se mantiene por el efecto de remoción de los sedimentos provocado por los vientos, favoreciendo al grupo Cianobacteria.

Por lo que respecta a Dzilam, las zonas donde se presenta mayor influencia de las descargas de agua dulce los tiempos de residencia del agua son menores (120-190 días) y los pulsos de nutrientes vía manantiales (Herrera-Silveira *et al.* 1995) favorecen la dominancia de Cryptophyta, Chlorophyta y Chrysophyta. En zonas donde los tiempos de residencia son ma-

yores (>200 días) coinciden con las áreas de menor profundidad (<1 m) y lejanas a la boca de intercambio con el mar, favoreciéndose altas temperaturas y con ello activados los procesos metabólicos resultando en un estado heterotrófico, aprovechado por las Cianobacteria y Pyrrophyta, mientras que en las zonas de influencia marina con menores concentraciones de nutrientes pero de mayor intercambio y circulación domina el grupo de las Bacillariophyta. A diferencia de Chelem y Celestún, la alta transparencia es debido a la alta cobertura (90%) de macrófitos sumergidos que presenta (Herrera-Silveira *et al.* 1995), los cuales funcionan como trampas de sedimento (Duarte 1995). El grupo Cryptophyta en la época de lluvias es frecuente en el sistema, reflejo de los aportes de agua dulce; sin embargo, en la época de secas el grupo Pyrrophyta es relativamente abundante en respuesta a las condiciones de bajas concentraciones de nutrientes y mayores niveles de materia orgánica disuelta y particulada (Herrera-Silveira 1995). Por lo que respecta a la época de nortes, además de las diatomeas, son frecuentes organismos de Pyrrophyta y Chlorophyta, como resultado de las condiciones de baja transparencia y mayores concentraciones de nutrientes en sectores cercanos a las descargas de agua subterránea (Herrera-Silveira *et al.* 1995).

Por otra parte, la geomorfología, la ubicación de las bocas de intercambio en el extremo este y la baja influencia de descargas de agua dulce en Río Lagartos están favoreciendo muy altos tiempos de residencia del agua en la zona media e interna (Herrera-Silveira y Comín 1998), con lo cual, el intercambio de agua de esta zona está fundamentalmente controlado por mareas, vientos y la evaporación, con lo que las altas salinidades y los procesos biogeoquímicos en la interfase sedimento/agua se ven favorecidos por la baja profundidad media. La zona interna de altas salinidades, está dominada por el grupo Cianobacteria, principalmente Chroococcales, a pesar de que la concentración de nutrientes sea relativamente baja (Herrera-Silveira y Ramírez 1998), sugiriendo una eficiente asimilación de los productos reminerali-

zados en los sedimentos por estos organismos. En zonas donde se observa influencia de manantiales las Cryptophyta, Chrysophyta y Chlorophyta tienen baja densidades, mientras que en la zona de influencia marina las Bacillariophyta son el grupo más conspicuo. Las Pyrrophyta fueron un grupo importante en áreas donde la concentración de nutrientes y la transparencia han sido reportadas como bajas y se observan condiciones heterotróficas. La heterogeneidad plánctica está relacionada con el gradiente de salinidad y la contribución de especies bentónicas debido a la alta relación superficie/volumen de la laguna.

Las diferencias en los patrones estacionales de salinidad, así como de nutrientes y balance entre descargas de agua dulce y marina en cada laguna costera de Yucatán son en gran parte responsables de las diferencias observadas en la dominancia de los grupos de fitoplancton en cada una de ellas. El balance neto entre las descargas de agua dulce y los aportes de agua marina en las lagunas costeras de Yucatán varía espacial y temporalmente en respuesta a las mareas, vientos y precipitación, controlando la distribución de la salinidad (Herrera-Silveira y Comín 1998), sin embargo, la velocidad de los procesos de producción y consumo se relacionan con la concentración y distribución de los nutrientes; por lo tanto, el tiempo de residencia del agua es un factor relevante para entender las diferencias en la comunidad fitoplánctica de estas lagunas costeras.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio recibió el apoyo de CONABIO B019 y CONACYT 414P-T9607. Los autores agradecen a J. Ramírez por su apoyo en los campañas de muestreo y edición de las figuras.

RESUMEN

El Estado de Yucatán, al sureste de México presenta condiciones geohidrológicas que favorecen la presencia de lagunas costeras con diferente patrón de salinidad. La laguna Celestún varía desde oligohalina hasta marina (10-38 psu), la laguna Chelem fluctúa entre marina e hiperhalina (32-48 psu), la laguna Dzilam se comporta de polihalina a

marina (20-36 psu), mientras que la laguna Río Lagartos presenta un comportamiento polihalino-hiperhalino (28-120 psu). El presente estudio tuvo como objetivo identificar los cambios estacionales y espaciales de los grupos dominantes de fitoplancton de estas lagunas y asociarlos a las variaciones de sus características hidrológicas. A la fecha se han identificado 466 táxa para las cuatro lagunas. En Celestún se observa codominancia de Bacillariophyta y Pyrophyta, en Chelem y Dzilam el grupo Bacillariophyta domina espacial y estacionalmente, mientras que en Río Lagartos el grupo Cyanobacteria domina significativamente, lo cual sugiere que las diferencias en los intercambios laguna-mar y aportes de agua subterránea en cada laguna son factores dominantes de las diferencias observadas.

REFERENCIAS

- Balech, E. 1988. Los dinoflagelados del Atlántico sudoccidental. Publ. Espec. Inst. Oceanog. No. 1, Madrid. 312 p.
- Bourrelly, P. 1970. Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Les algues bleues et rouges, les eugléniens, peridienos et cryptomonadines. T- III. N. Boubée & Cie. Paris. 512 p.
- Bourrelly, P. 1972. Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Les algues vertes. T- I. N. Boubée & Cie. Paris. 572 p.
- Bourrelly, P. 1981. Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Les algues jaunes et brunes: chrysophycées, phéophycées, xanthophycées et diatomées. T-II. N. Boubée & Cie., Paris. 517 p.
- Caljon, A. 1983. Brackish-water phytoplankton of the fleemish lowland. W. Junk, The Hague, The Netherlands. 272 p.
- Catañeda, L.O & F. Contreras. 1994. Bibliografía comentada sobre ecosistemas costeros mexicanos. Vols. I, II y III. CONABIO/UAM-I/CDELM. México. 1132 p.
- Chrétiennot-Dinet, M., C. Billard & A. Sournia. 1990. Atlas du phytoplancton marin: chlorarachniophycées, chlorophycées, chrysophycées, cryptophycées, euglénophycées, eustigmatophycées, prasinophycées, prymnésiofycées, rhodophycées et tribophycées. Vol. III. CNRS, Paris. 261 p.
- Cupp, E. 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. 5(1):1-237.
- Duarte, C. 1995. Submerged aquatic vegetation in relation to different nutrient regimes. *Ophelia*. 41:87-112.
- Ferguson, E. 1968. Dinoflagellates of the Caribbean sea and adjacent areas. Univ. of Miami, Florida. 143 p.
- Hasle, G. 1978. The inverted-microscope method, p. 88-96. *In* A. Sournia (ed.). *Phytoplankton Manual. Monographs on Oceanographic Methodology*, 6 UNESCO. Paris.
- Hendey, N. 1964. An introductory account of the smaller algae of british coastal waters. Part: bacillariophyceae. H. M. Staf. Off., Londres. 317 p.
- Herrera-Silveira, J. 1994a. Nutrients from underground discharges in a coastal lagoon (Celestún, Yucatán, México). *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 1398-1403.
- Herrera-Silveira, J. 1994b. Spatial and temporal patterns in a tropical coastal lagoon with groundwater discharges. *J. Coast. Res.* 10: 738-746.
- Herrera-Silveira, J. 1995. Seasonal patterns and behaviour of nutrients in a tropical coastal lagoon with groundwater discharges. *J. Ecol. Env. Sci.* 22: 45-57.
- Herrera-Silveira, J. 1996. Salinity and nutrients in a tropical coastal lagoon influenced by groundwater discharges. *Hydrobiologia* 321: 165-176.
- Herrera-Silveira, J. & F. Comín. 1995. Nutrient fluxes in a tropical coastal lagoon. *Ophelia*. 42: 127-146.
- Herrera-Silveira, J. & F. A. Comín. 1998. An Introductory account of the types of aquatic ecosystems of Yucatan Peninsula (SE Mexico). *In* M. Munawar (ed.). *Ecovision: World Monographs Series. The Aquatic Ecosystems of Mexico*. Kluwer. (en prensa)
- Herrera-Silveira, J., J. Ramírez, J. Trejo, P. Soto-Cadena & I. Sánchez. 1995. Biodiversidad de productores primarios de lagunas costeras del norte de Yucatán. Informe Final CONABIO-B011, Mérida, México. 60 p.
- Herrera-Silveira, J. & J. Ramírez. 1998. Salinity and nutrients in the coastal lagoons of Yucatan, Mexico. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26: 1473-1478.
- Kjerfve, B. 1994. Coastal lagoon processes. *Elsev. Oceanograph. Ser.* 60, Amsterdam. 577 p.
- Lankford, R. 1977. Coastal lagoons of México. Their origin and classification. 182-241 *In* M. Riley (ed.). *Estuar. Proc.* 21. Acad. New York.
- Licea, S., J. Moreno, H. Santoyo, & G. Figueroa. 1995. Dinoflageladas del Golfo de California. UABCS, México. 166 p.
- Moreno, J., S. Licea & H. Santoyo. 1996. Diatomeas del Golfo de California. UABCS, México. 274 p.

- Patrick, R. & C. Reimer. 1966. The diatoms of the United States. Exclusive of Alaska and Hawaii. Vol. I. Acad. Nat. Sci. Philad., USA. 688 p.
- Round, F., R. Crawford & D. Mann. 1990. The diatoms: biology & morphology of the genera. Cambridge, Cambridge. 742 p.
- Taylor, F. 1976. Dinoflagellates from the international indian ocean expedition. *Bibl. Bot.* 132: 1-234.
- Valdés, D. & E. Real. 1994. Flujos de amonio, nitrito, nitrato y fosfato a través de la interfase sedimento-agua, en una laguna tropical. *Cienc. Mar.* 20(1): 65-80.
- Valdés, D. & E. Real. 1998. Variations and relationships of salinity, nutrients and suspended solids in Chelem lagoon at Yucatan, Mexico. *Indian J. Mar. Sci.* 27: 149-156.
- Wood, E. 1954. Dinoflagellates in the australian region. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* 5(2): 172-348.