



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

00344  
6  
29

FACULTAD DE CIENCIAS  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

VARIACIÓN MORFOLÓGICA DE ESPECIES DE *Cylindrospermopsis*  
(NOSTOCALES, CYANOPHYCEAE) EN ALGUNOS LAGOS DE LA REGIÓN  
DE LOS TUXTLAS, MÉXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRO EN CIENCIAS  
(BIOLOGIA DE SISTEMAS Y RECURSOS ACUÁTICOS)

PRESENTA

Delia Vázquez Galicia

Director de Tesis: Dra. Rosa Luz Tavera Sierra.

264672

1998

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIA

Quiero dedicar esta Tesis a quienes me han apoyado siempre:

Mis padres Luis y Delia, mis hermanos Marisa, Laura, José Luis, Alejandro, Ulises, Xochiquetzal y Ligia.

A mis ahora hermanos Roberto, Gustavo, Alicia, Adriana y Ada Gabriela por cuidar de las personas que quiero.

A Alicia, Gustavo, Monserrat Pitzahuatl, Laura Lilián y Brayan.

*¡Ánimo chiquitos! El mundo es suyo.*

A mi esposo Guillermo:

Porque en todo este tiempo el amor, el cariño, el respeto y el apoyo ha sido mutuo e incondicional.

*Te amo*

A tí que creces dentro de mí:

Te dedico este trabajo que haz vivido y realizado junto a mi.

Agosto, 1998.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al laboratorio de Ficología, particularmente al Dr. Jorge González González, Coordinador del mismo por el apoyo brindado en la realización de la presente Tesis.

A la Comisión Federal de Electricidad, Estación Hidroeléctrica Chilapa San Andrés Tuxtla, Veracruz. Particularmente al Ing. José Luis Caracas Hernández, responsable de la planta por las facilidades otorgadas para efectuar el trabajo de campo.

A los miembros del jurado evaluador: Dr. Antonio Lot Helgueras, Dra. Rosa Luz Tavera Sierra, M. en C. Eberto Novelo Maldonado, M. en C. Gustavo Alberto Montejano Zurita, Dr. Javier Alcocer Durand, Dr. Javier Carmona Jiménez y Dra. Margarita Erna Caballero; por las aportaciones y comentarios a la presente Tesis.

A la M en A. P. Ma. del Pilar Alonso Reyes por la asesoría brindada en la parte estadística.

Al M en C. Bonifacio Mostacedo Calatayud y al Físico Cesar Carlos Díaz Torrejón por su ayuda en el manejo y uso de programas y paquetes de cómputo.

A mis compañeros del Laboratorio de Ficología: Jorge, Eberto, Rosi, Gustavo, Michel, Dení, Hilda, Daniel, Carlos, Ligia, Enrique, Javier, Dalila, Norma, Francisco, Claudia, Ileana, Fabián, Viridiana y Laura...por TODO!

# ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	3
I.1 ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	
I.2 OBJETIVOS	
II. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	13
III. METODOLOGÍA	16
IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	22
IV.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PRESENTACIÓN GRÁFICA	
IV.1.1 ANÁLISIS DE CARACTERES CUANTITATIVOS	
IV.1.2 ANÁLISIS DE CARACTERES CUANTITATIVOS Y CUALITATIVOS.	
IV.1.3 ANÁLISIS GRÁFICO	
IV.1.3.1 Análisis Gráfico Intraespecífico (Gráficas de línea).	
IV.1.3.2 Análisis Interespecífico de los caracteres (Gráficas de área)	
IV.2 CLAVE DE IDENTIFICACIÓN PARA LAS ESPECIES DE <i>Cylindrospermopsis</i>	
IV.2.1 Descripción de las especies de <i>Cylindrospermopsis</i> presentes en la región de Los Tuxtlas, México (Lámina I).	
V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	45
VI. PERSPECTIVAS	58
VI. LITERATURA CITADA	59

DISTRIBUCIÓN MUNDIAL DEL GÉNERO *Cylindropermopsis*

UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

GRÁFICA DE RADAR (Interpretación)

DENDROGRAMAS (Figs. 4 - 10)

GRÁFICAS DE RADAR (Gráficas de área. Registros mundiales del género *Cylindropermopsis*. Fig. 11).

GRÁFICAS DE RADAR (Gráficas de línea. Variación intraespecífica de las poblaciones de la región de Los Tuxtlas Veracruz. Figs. 12 - 15) .

GRÁFICAS DE RADAR (Gráficas de área. Intervalos de medida de los caracteres de las especies de *Cylindropermopsis* de los lagos de la región de Los Tuxtlas, Veracruz. Figs. 16 - 18).

GRÁFICA DE RADAR (Gráfica de área. Registros de las especies de *Cylindropermopsis* de la región de Los Tuxtlas, Veracruz. Fig. 19).

## RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos del estudio efectuado en tres lagos de la región de Los Tuxtlas, en el estado de Veracruz, cuyo objetivo fue caracterizar la variación morfológica en especies del género *Cylindrospermopsis*, un género con distribución eminentemente tropical, subtropical y algunas veces de regiones templadas (en verano bajo condiciones de iluminación y temperatura similares a las de regiones tropicales). Estos lagos son Chalchoapan, Asmolapan y Catemaco.

Se efectuaron muestreos en 1994 y 1995 en los lagos de Chalchoapan y Catemaco y en agosto de 1993 en el lago Asmolapan. Inicialmente se determinaron cuatro especies, *C. catemaco*, *C. philippinensis*, *C. raciborkii* y *C. cuspis* de los cuales fue evaluada la expresión de los caracteres que tienen peso taxonómico en el grupo y la variación morfológica poblacional de cada especie (intraespecífica) en lagos diferentes.

Para examinar la variación morfológica intraespecífica y comparar la manifestación interespecífica de los caracteres, se midieron caracteres como largo y diámetro de la célula (de éstas se determinó la relación largo-ancho), largo y diámetro del heterocito (características cuantitativas), y se les asignó un valor numérico a las características cualitativas de forma del tricoma, forma del heterocito y presencia o ausencia de aerotopos.

A los resultados se les aplicó un análisis de conglomerados (método de Ward) con el objetivo de separar a las poblaciones. Los resultados indican que con sólo emplear caracteres cuantitativos, no se obtiene una separación satisfactoria, ya que algunas de las medidas se traslapan; sin embargo, al evaluar caracteres cuantitativos en conjunto con los cualitativos, hay una separación completa de las poblaciones de las especies y las agrupaciones (dendrogramas) que se

obtienen son entonces consecuentes con la taxonomía del grupo. Además se emplearon gráficas de radar (polígonos de Davidson) para evaluar, a través de correlaciones positivas o negativas, las dependencias entre los caracteres que fueron seleccionados para determinar a las especies estudiadas.

La variación de los caracteres de las especies de este género se observó con ciertos intervalos constantes en las localidades en las que se encontraron. Esta variación se mostró independiente de las condiciones ecológicas de la región de Los Tuxtlas y, aún cuando existieron traslapes entre los intervalos de variación de las especies, sobre todo en los caracteres cuantitativos, para distinguirlas satisfactoriamente fue necesario emplear tanto caracteres cuantitativos como cualitativos lo cual se observó en los análisis estadísticos y gráficos.



## I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio se encuentra inscrito en el proyecto "Flora Ficológica de la Cuenca del río Papaloapan", el cual se desarrolla en el laboratorio de Ficología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México y está dirigido al análisis taxonómico de algunas especies del género *Cylindrospermopsis* las cuales fueron encontradas en tres lagos de la región de Los Tuxtlas, Veracruz.

Siguiendo el esquema de clasificación propuesto por Anagnostidis y Komárek (1985), *Cylindrospermopsis* forma parte de la clase Cyanophyceae, orden Nostocales. La taxonomía de las Cyanoprokaryota ha sufrido distintas interpretaciones a lo largo de su desarrollo y muchos han sido los criterios taxonómicos empleados en la separación de clases, ordenes, familias, géneros y especies. Criterios tales como pigmentación, morfología de talos, desarrollo de estructuras especializadas entre otras, han servido como base para la realización de diversos sistemas de clasificación (Geitler, 1932; Bourrelly, 1970 y Anagnostidis y Komárek, 1985). Algunos autores manejan a la clase como el nivel más alto del grupo; sin embargo, considerando el origen polifilético de las algas, la mayor parte de estos prefieren estudiarlas por divisiones. Aquí se tomará como referencia el sistema de clasificación propuesto por Anagnostidis y Komárek (1985) en el cual Cyanophyceae es considerada como una clase con cuatro ordenes Chroococcales, Oscillatoriales, Nostocales y Stigonematales. Estos dos últimos agrupan a las cianoprocarotes heterocitosas y se diferencian por las modificaciones en el filamento ya que en Nostocales (orden al que pertenece *Cylindrospermopsis*) se presentan filamentos obligatoriamente uniseriados en donde las células siempre se dividen perpendicularmente a lo largo de los ejes del tricoma, mientras que en Stigonematales se observan filamentos multiseriados (o al menos las células poseen la habilidad para dividirse en más direcciones con respecto al eje longitudinal de un tricoma).

El género *Cylindrospermopsis* Seenayya y Subba Raju 1972

Desde que se aceptó la separación de *Anabaenopsis* de *Anabaena* (Miller, 1923), algunas especies de *Cylindrospermopsis* quedaron validadas dentro del género *Anabaenopsis*, como *A. raciborskii* Wolosynska, 1912. En 1932 Taylor describió *Anabaenopsis philippinensis* diferenciándola de *A. raciborskii* por las constricciones visibles en las células y la presencia de numerosos aerotopos; sin embargo, estudios posteriores determinaron que en algunos "*Anabaenopsis*" la diferenciación del heterocito se efectuaba en células terminales y no por la división de dos células vecinas intercaladas en el tricoma, como ocurre estrictamente en *Anabaenopsis*.

El género *Cylindrospermopsis* fue descrito en 1972 por los ficólogos hindúes Seenayya y Subba Raju para agrupar justamente las especies de cianofíceas en las que el desarrollo de un heterocito se daba en la parte terminal del tricoma. En 1979 Horecká y Komárek habían mencionado que la formación del heterocito en la zona apical era un carácter suficiente para el establecimiento de tal nuevo género: *Cylindrospermopsis* y anexaron tres características más en las que este género difiere de otros:

1) Las células contienen aerotopos (esta característica aún no ha sido reconocida como un carácter genérico en la taxonomía de Cyanoprokaryota pero, puede ser empleada para distinguir géneros, por ejemplo *Cylindrospermopsis* de *Cylindrospermum*),

2) la parte final del tricoma sin heterocitos y acinetos es atenuada y puntiaguda (como en *Aphanizomenon* o *Raphidiopsis*) y,

3) algunas veces, de 1-3 células vegetativas se encuentran presentes entre los heterocitos terminales y los acinetos.

Posteriormente, Komárek (1984) registró poblaciones de *Anabaenopsis philippinensis* para Cuba e hizo el cambio de nombre a *Cylindrospermopsis philippinensis*, la cual correspondió con parte de las poblaciones descritas por Wolosynska en 1912 y parte de las poblaciones de Filipinas descritas por Taylor en 1932; y, la principal razón para aceptar el género *Cylindrospermopsis*, dice Komárek (1984) es el desarrollo de los heterocitos al final del filamento.

Caracteres y tipos de carácter que delimitan las especies de *Cylindrospermopsis*:

Cinco especies de este género han sido descritas mundialmente, dos con distribución pantropical (*C. philippinensis* y *C. raciborskii*) y tres que se encuentran en escasas localidades (conocidas) tropicales (*C. catemaco*, *C. cuspis* y *C. africana*). En la descripción de estas se han empleado caracteres (Tabla 1) como:

Forma del tricoma

Largo del tricoma

Distancia entre espiras

Largo y diámetro de las células

Relación largo-ancho de las células

Forma de la célula apical

Forma del heterocito

Largo y diámetro del heterocito

Presencia o ausencia de constricciones

Presencia o ausencia de aerotopos

Presencia o ausencia de acinetos

Con base en ellos, se ha descrito una amplia variación morfológica, por ejemplo Komárek (1984) describió a *C. philippinensis* para Cuba como tricomas regularmente espiralados, a diferencia de Komárek y Kling (1991) quienes registraron para el lago Victoria (África), tricomas

ondulados y no circulares como los descritos por Komárková-Legnerová y Tavera (1996) para el lago Catemaco (México). Las células del tricoma de los individuos de esta especie han sido descritas como cilíndricas, ligeramente constreñidas o sin constricciones y los diámetros de éstas van de 1.5-2.2  $\mu\text{m}$  en poblaciones cubanas Komárek (1984), mientras que en poblaciones mexicanas Komárková-Legnerová y Tavera (1996) describieron células de 3-5  $\mu\text{m}$  de diámetro. En esta especie los heterocitos son terminales, en uno o en ambos extremos; de forma cónico, atenuado o levemente curvo (Komárek, 1984) o cilíndricos, elongados a veces curvos (Komárková-Legnerová y Tavera, 1996).

Otro ejemplo de esta variación la presenta Hindák (1988) para la especie *C. raciborskii* (encontrada en un reservorio de Borický al oeste de Eslovaquia), la cual describió como tricomas rectos o ligeramente curvados, del mismo modo como fueron descritos por Hindák y Moustaka (1988) para el lago Volvi en Grecia pero, no así para poblaciones cubanas ya que Komárek (1984) describió tricomas más o menos rectos. Estos tricomas varían de tamaño de acuerdo con la localidad; para Eslovaquia se registraron tricomas de 70-120-(430)  $\mu\text{m}$  de longitud, para Grecia de 40-140  $\mu\text{m}$ , mientras que para Cuba se han registrado tricomas hasta de 95  $\mu\text{m}$ . Las células presentan ligeras constricciones o pueden carecer de ellas y la forma de la célula apical en poblaciones eslovacas fue registrada como atenuada, y en poblaciones cubanas como cónicamente atenuada, roma y hasta puntiaguda. Los heterocitos son cónico alargados y son más largos que anchos. La variación morfológica registrada por algunos de los autores que han observado especies del género se muestra en la Tabla 1.

Distribución de las especies de *Cylindrospermopsis*:

*Cylindrospermopsis* es un género importante en el plancton de algunos cuerpos de agua tropicales (Taylor, 1932; Komárek, 1984; Figueroa, 1984; Komárek y Kling, 1991; Branco y Senna, 1994; Vázquez, 1995; Komárková-Legnerová y Tavera, 1996; Tavera, 1996) y subtropicales (Chapman y Schelske, 1997) (Fig. 1). Algunas especies de este género parecen estar presentes también en regiones templadas aparentemente bajo condiciones de iluminación y

temperatura similares a las regiones tropicales, como las descritas para Europa central durante el verano y otoño (Hindák, 1988; Hindák y Moustaka, 1988). En este trabajo se registra la presencia de algunas de estas especies en lagos mexicanos ubicados en el extremo suroriental del estado de Veracruz; estos lagos son Asmolapan, Chalchoapan y Catemaco (Fig. 2).

Tabla 1. Caracteres considerados en las descripciones de las especies de *Cylindrospormopsis* (Tomados de Taylor, 1932; Komárek, 1984; Hindák, 1988; Hindák y Moustaka, 1988; Komárek y Kling, 1991 y Komárek-Legnerová y Tavera, 1996).

Carácter	<i>C. catemaco</i>			<i>C. philippinensis</i>			<i>C. rachiowskii</i>			<i>C. caispis</i>			<i>C. africana</i>					
	espiralado, ondulado excepcionalmente recto	regularmente espiralado, en forma de "C"	rectos, ligeramente ondulados, a veces espiralados (ocasionalmente 40-200(430))	rectos, ligeramente torcidos	rectos, ligeramente torcidos	rectos, irregularmente espiralados (esporádicamente)	espiralado, excepcionalmente recto	regularmente espiralado, en forma de "C"	rectos, ligeramente ondulados, a veces espiralados (ocasionalmente 40-200(430))	rectos, ligeramente torcidos	rectos, ligeramente torcidos	rectos, irregularmente espiralados (esporádicamente)	espiralado, excepcionalmente recto	regularmente espiralado, en forma de "C"	rectos, ligeramente ondulados, a veces espiralados (ocasionalmente 40-200(430))	rectos, ligeramente torcidos	rectos, irregularmente espiralados (esporádicamente)	
forma del tricoma																		
largo del tricoma (µm)	10-45-(90)	30-120	40-200(430)	-	-	-	30-120	40-200(430)	-	-	-	-	30-120	40-200(430)	-	-	-	
distancia entre espiras (µm)	7-11	1-4.5	7-11	-	-	-	1-4.5	7-11	-	-	-	-	1-4.5	7-11	-	-	-	
diámetro de célula (µm)	0.8-1.2(1.6)	1.5-3(-5)	1.7-3.8	0.8-1.2	0.8-1.2	1-2.5	0.8-1.2(1.6)	1.7-3.8	0.8-1.2	0.8-1.2	1-2.5	0.8-1.2	1.5-3(-5)	1.7-3.8	0.8-1.2	0.8-1.2	1-2.5	
largo de célula (µm)	4-10(32)	2.5-5.5	3-6(12)	4.2-19.5	4.2-19.5	4.2-22.4	4-10(32)	3-6(12)	4.2-19.5	4.2-19.5	4.2-22.4	4.2-19.5	2.5-5.5	3-6(12)	4.2-19.5	4.2-19.5	4.2-22.4	
relación largo-ancho (µm)	3.3-12.5	0.8-3.6	0.8-3.5	3.5-24.3	3.5-24.3	1.7-22.4	3.3-12.5	0.8-3.5	3.5-24.3	3.5-24.3	1.7-22.4	3.5-24.3	0.8-3.6	0.8-3.5	3.5-24.3	3.5-24.3	1.7-22.4	
forma de la célula apical	en punta	ligeramente cónica, atenuada, redondeada	cónicamente atenuada	cónica- puntiaguda	cónica- puntiaguda	ligeramente redondeada	en punta	ligeramente cónica, atenuada, redondeada	cónica- puntiaguda	cónica- puntiaguda	ligeramente redondeada	en punta	ligeramente cónica, atenuada, redondeada	cónicamente atenuada	cónica- puntiaguda	cónica- puntiaguda	ligeramente redondeada	
forma del heterocito	elongado, cilindrico a elipsoidal	cónico, atenuado o levemente curvo cilindrico	cónico-alargado ovoide-alargado	puntiagudo, elongado o en forma de gota	puntiagudo, elongado o en forma de gota	cilíndricos o ligeramente ovooides, redondeados en los polos	elongado, cilindrico a elipsoidal	cónico, atenuado o levemente curvo cilindrico	cónico-alargado ovoide-alargado	puntiagudo, elongado o en forma de gota	puntiagudo, elongado o en forma de gota	cilíndricos o ligeramente ovooides, redondeados en los polos	elongado, cilindrico a elipsoidal	cónico, atenuado o levemente curvo cilindrico	cónico-alargado ovoide-alargado	puntiagudo, elongado o en forma de gota	puntiagudo, elongado o en forma de gota	cilíndricos o ligeramente ovooides, redondeados en los polos
diámetro de heterocito (µm)	1.1-2.2	1.8-3.6	1.8-3.2	1-1.3	1-1.3	1.6-3.5	1.1-2.2	1.8-3.6	1-1.3	1-1.3	1.6-3.5	1.1-2.2	1.8-3.6	1.8-3.2	1-1.3	1-1.3	1.6-3.5	
largo del heterocito (µm)	4-4-8	3.6-5.4	4.5-8(-11.5)	(6.2)6.4-11.2	(6.2)6.4-11.2	4-8.4(10.5)	4-4-8	3.6-5.4	(6.2)6.4-11.2	(6.2)6.4-11.2	4-8.4(10.5)	4-4-8	3.6-5.4	4.5-8(-11.5)	(6.2)6.4-11.2	(6.2)6.4-11.2	4-8.4(10.5)	
constricciones	sin constricciones	con o sin constricciones	con o sin constricciones, cuando presentes ligeras	con constricciones	con constricciones	con constricciones	sin constricciones	con o sin constricciones	con constricciones	con constricciones	con constricciones	sin constricciones	con o sin constricciones	con o sin constricciones, cuando presentes ligeras	con constricciones	con constricciones	con constricciones	
aerotoxos	eventualmente	abundantes	escasos	ausentes	ausentes	eventualmente	eventualmente	escasos	ausentes	ausentes	eventualmente	eventualmente	abundantes	escasos	ausentes	ausentes	eventualmente	
distribución	tropical	panropical	panropical	tropical	tropical	tropical	tropical	panropical	tropical	tropical	tropical	tropical	panropical	panropical	tropical	tropical	tropical	

## I.1 Antecedentes y descripción del problema

Como se mencionó, *Cylindrospermopsis* ha sido registrado en su mayoría para lagos tropicales (lago Victoria, África; el Laguito, Cuba; lago Sampaloc, Filipinas; lago Catemaco, Presa Miguel Alemán, lago Xochimilco (obs. pers.), Cenotes de Yucatán y lago del bosque de Aragón (Tavera, com. pers.), México y Reservorio Paranoá en Brasil; algunas veces para las regiones subtropicales (como los lagos del norte de Florida y sur de alta California) y en ciertas regiones templadas del centro y sur de Europa (Eslovaquia y Grecia, respectivamente). Estos registros han sido referidos a las especies *C. raciborskii* (Wolosz), Seenayya y Subba Rajú, 1972; *C. philippinensis* (Taylor) Komárek, 1984; *C. catemaco* Komárková-Legnerová y Tavera, 1996; *C. cuspis* Komárek y Kling, 1991 y *C. africana* Komárek y Kling, 1991. En las descripciones de estas especies los autores han considerado aquellas características que definen a las poblaciones encontradas en cada localidad estudiada, las cuales muestran la variación morfológica en las diferentes poblaciones en los trópicos y subtrópicos (Tabla 1).

Para México (lago Catemaco) Komárková-Legnerová y Tavera (1996) describieron a la especie *C. catemaco* y registraron a *C. philippinensis*. En la colecta realizada en el lago Asmolapan, se encontraron numerosas poblaciones de individuos que se acercaban a las descripciones de las especies *C. raciborskii* y *C. cuspis* pero, al mismo tiempo, algunas poblaciones de individuos coincidían con las descripciones de la especie *C. philippinensis*. En colectas efectuadas en el lago Chalchoapan, se observó la presencia de poblaciones que correspondían con la descripción de las especies de *C. catemaco* y *C. philippinensis*, además de poblaciones que se aproximaban a los registros de *C. raciborskii* y *C. cuspis*.

Al efectuar una comparación de las poblaciones en estos lagos, estas presentaron una variación morfológica que a veces se mantenía dentro de intervalos más o menos constantes y era posible distinguir especies; sin embargo, se encontró que existía una variación poblacional de cada especie en lagos diferentes, por lo que se decidió evaluar primero por

## II. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La Sierra de Los Tuxtlas (Fig. 2) es una sucesión de montañas de origen volcánico con orientación diagonal NO-SE. Se localiza entre los 18°10' y 18° 45' N y los 94° 42' y 95° 27' O, abarcando un área de 4 500 km<sup>2</sup> del sureste del estado de Veracruz. Geográficamente se caracteriza por una accidentada topografía, resultado de un intenso vulcanismo ocurrido durante el Pleistoceno y el Reciente formada por montañas y una densa acumulación de pequeños cráteres dentro de los cuales los más conspicuos son el volcán San Martín (1 765 m) y los cerros Cintepec (670 m), Campanario (1 180 m), Santa Marta (1 660 m) y Pelón (1 200) (González *et al.*, 1997).

De acuerdo con el sistema de clasificación de Köeppen, modificada por García (1981), en la región de Los Tuxtlas se presenta un clima cálido (A) y semicálido A(C); el primero (A) se caracteriza porque la temperatura media anual es mayor de los 22 °C mientras que en el clima semicálido A(C) la media anual es menor a los 18°C. Considerando la forma en la que se distribuye la precipitación en la región, se presentan cinco subtipos de clima cálido A y uno del semicálido A(C) que corresponden tanto a húmedos como a subhúmedos. De acuerdo con un gradiente de mayor a menor humedad, se tiene que el clima más húmedo Af(m) se localiza al este de la sierra. Hacia la parte oeste y en las partes más bajas el gradiente de humedad disminuye tornándose el clima Am. En dirección sur y suroeste se van sucediendo los subtipos climáticos en forma decreciente de humedad. Como climas subhúmedos se tiene el Aw<sub>2</sub> (el más húmedo) el Aw<sub>1</sub> (intermedio) y, en la parte suroeste, el Aw<sub>0</sub> (el más seco de este tipo). Por último en las partes altas se localiza el subtipo semicálido (A)C(fm) el cual se caracteriza porque llueve durante todo el año y caen por lo menos 40 mm de precipitación en el mes más seco.

Los recursos naturales de la zona son muy abundantes. Los suelos, derivados en gran parte de material volcánico, son ricos en nutrientes orgánicos y poseen horizontes humíferos densos, lo que conlleva al desarrollo de cultivos de importancia económica como maíz, arroz,



caña de azúcar, vainilla, café, plátano, mango, aguacate y tabaco. La vegetación natural de la zona corresponde a selva baja perenifolia; pero la alta deforestación de terrenos adyacentes al lago Catemaco ha dado como resultado que los bosques hayan sido talados para la construcción de potreros y cultivos de frutales.

La actividad ganadera es de ganado bovino, aunque también hay porcino, caprino y caballar, existiendo la avicultura y apicultura (Álvarez, 1990).

#### El lago Catemaco

El macizo montañoso de Los Tuxtlas se encuentra partido en dos porciones, una al noreste, formada por el volcán San Martín y otra hacia el sureste llamada Sierra de Santa Marta separada por una depresión hacia el oeste en la que se asienta el lago Catemaco a los 18° 22' y 18° 26' N y 95° 07' y 95° 01' O, con una superficie de 72.5 km<sup>2</sup> y una profundidad promedio de 7.6 m a una altitud de 332 msnm. La precipitación promedio anual es de 1 935.3 mm, con un mínimo de 25.6 mm en marzo y un máximo de 445.9 mm en septiembre; dominando de noviembre a enero los vientos del norte y el resto del año los del noreste. La temperatura promedio anual es de 24°C con una mínima de 16°C y una máxima de 34°C.

El lago Catemaco es descrito por Tavera (1996) como un lago típicamente tropical, eutrófico con una concentración de clorofila a de 17 a 63.7 µg.l<sup>-1</sup>, una transparencia de 0.70 m y una dominancia fitopláctica de especies de cianofíceas heterocitosas, lo cual se debe tanto a la constante mezcla del lago como a la baja relación de N:P que se presenta en éste.

#### El lago Chalchoapan

El lago Chalchoapan se encuentra inmerso dentro de la sierra de Los Tuxtlas, Veracruz, a los 18° 25' N y 95° 08' O., a 2 km. aproximadamente del poblado Catemaco. Presenta una profundidad mayor a los 28 m y una transparencia promedio de 0.50 m, aproximadamente.

Dentro de su composición fitoplánctica se encuentran principalmente cianofíceas filamentosas y durante el período de colecta la temperatura promedio fue de 26.2°C con una mínima de 24°C en enero y una máxima de 31°C en el mes de agosto.

#### El lago Asmolapan

El lago Asmolapan se localiza a los 18° 26' N y 95° 06' O. En agosto de 1993 presentó una temperatura de 27.5 °C y se emplea como zona de crianza de cocodrilo de la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas, del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

### III. METODOLOGÍA

Se realizaron varias colectas en un periodo de 1994 a 1995 en los lagos Catemaco y Chalchoapan. El lago Asmolapan se colectó en agosto de 1993.

Los lagos Catemaco y Chalchoapan fueron colectados en la superficie de la zona pelágica (0.30 m) con una red de fitoplancton con abertura de malla de 10  $\mu\text{m}$ ; el lago Catemaco se colectó a 3 km. aproximadamente de la orilla (punto A) y Chalchoapan fue colectado en la parte central; cuando fue posible muestrear Asmolapan, se colectó en la orilla (Fig. 2). Las muestras fueron fijadas con formaldehído al 2 % y están depositadas en la colección del Proyecto Flora Ficológica de la Cuenca del río Papaloapan (clave PAP) en el Herbario de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (FCME).

Se efectuaron preparaciones permanentes de las muestras con gelatina glicerizada. Las preparaciones fueron revisadas bajo un microscopio óptico Reichert de contraste interdiferencial, se realizaron dibujos con cámara clara y se tomaron fotos en papel blanco y negro con rollo T max Asa 100 y diapositivas. Las características cuantitativas y cualitativas evaluadas fueron: largo y diámetro de las células, relación largo-ancho, largo y diámetro del heterocito, forma del tricoma, forma del heterocito y presencia de aerotopos (Tablas 2 y 3).

Fueron seleccionados 407 individuos de las especies de *Cylindrospermopsis* en los tres lagos pues no todos los individuos reunían las características seleccionadas para este análisis, a pesar de que la biomasa algal de Cyanoprokaryota en los lagos es alta. <sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> En el lago Catemaco se obtuvo un mínimo de clorofila *a* de 17  $\mu\text{g l}^{-1}$  en noviembre de 1994 y un máximo de 637  $\mu\text{g l}^{-1}$  en junio de 1995 (Tavera 1996), y en el lago Chalchoapan 19.9  $\mu\text{g l}^{-1}$  de clorofila *a* en noviembre de 1994 y de 52.5  $\mu\text{g l}^{-1}$  en abril de 1995 (Romero, datos sin publicar). Se da como referencia el dato de concentración de clorofila *a* como una determinación indirecta de la biomasa algal, en este caso de cyanoprokaryotes, ya que en revisiones preliminares se observó que las especies de este grupo formaban parte importante del fitoplancton de estos lagos (Lampert *et al.*, 1997).

Tabla 2. Características cuantitativas empleadas en la evaluación de caracteres que delimitan a las especies de *Cylindrospermopsis* de la región de Los Tuxtlas, Veracruz.

CARÁCTER	ABREVIATURA
largo de la célula ( $\mu\text{m}$ )	largo cél.
diámetro de la célula ( $\mu\text{m}$ )	diám. cél.
relación largo:ancho ( $\mu\text{m}$ )	l:a
largo del heterocito ( $\mu\text{m}$ )	largo het.
diámetro del heterocito ( $\mu\text{m}$ )	diám. het.

Para la caracterización de los taxa, los datos fueron evaluados por distintos métodos con el objetivo de observar cuáles caracteres podían considerarse como importantes para ponderar la variación y comparar los intervalos de las poblaciones encontradas.

A estos se les aplicó un análisis de conglomerados (programa SPSS, Statistical Program of Science Social) el cual tuvo por objetivo clasificar los individuos más parecidos dentro de un mismo grupo sin hacer una delimitación de los individuos que correspondieran a determinada especie, es decir, para correr el análisis los datos de cada individuo se ingresaron como Caso 1 a Caso n. Aunque fueron probados diversos métodos jerárquicos de agrupación (método de liga simple, método del centroide, método de liga compuesta, método de la mediana y el método de Ward), se optó por presentar sólo los resultados obtenidos por el método de Ward porque es un método flexible que no impone restricciones para su aplicación en la evaluación de las poblaciones como algunos de los otros métodos, por ejemplo no se necesita un número máximo o mínimo de individuos para el análisis y no

Tabla 3. Características cualitativas empleadas en la evaluación de caracteres que delimitan a las especies de *CylindrospERMopsis* de la región de Los Tuxtlas, Veracruz.

CARÁCTER <sup>4</sup>	TIPO DE CARÁCTER Y VALOR ASIGNADO
FORMA DEL TRICOMA	4 espiralado/ 8 recto/ 12 ondulado/ 16 curvado/
FORMA DEL HETEROCITO	4 de gota/ 8 cilíndrico/ 12 recto de lanza aguda/ 16 cónico/
PRESENCIA DE AEROTOPOS	4 facultativo/ 8 siempre presentes muy escasos/ 12 siempre presentes en abundancia/ 16 ausentes/

Luego, se buscó una forma gráfica que permitiera relacionar a los caracteres cuantitativos y cualitativos evaluados en Ward. Se decidió representarlos con gráficas de radar (polígonos de Davidson, 1947) de área y de línea.

<sup>4</sup> Para determinar el valor de los caracteres cualitativos (los cuales carecen de un valor real) se tomaron como referencia los valores reales de medida máximo y mínimo del total de individuos y se les eligió una escala dentro de este intervalo para la representación gráfica. Los valores se muestran en la Tabla 3. En la forma del tricoma el carácter curvado incluye la opción en forma de "C" la forma del heterocito de gota puede ser delgado o anchamente curvado, la forma cilíndrico puede ser cónico o elíptico y la forma cónico también puede ser cónico curvado.

#### IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las poblaciones de *Cylindrospermopsis* encontradas y evaluadas en cada lago fueron numeradas de la forma siguiente:

Tabla 4. Poblaciones de *Cylindrospermopsis* reconocidas en lagos estudiados de la región de Los Tuxtlas, Veracruz.

CATEMACO	CHALCHOAPAN	ASMOLAPAN
población 1	población 3	población 7
población 2	población 4	población 8
	población 5	población 9
	población 6	

Las medidas y caracteres cualitativos de estas poblaciones se muestran en la Tabla 5.

##### IV.1 Análisis estadístico y presentación gráfica

Aplicando el análisis de conglomerados (método de Ward), se obtuvieron los dendrogramas de clasificación que mostraron la agrupación de los individuos con mayor similitud en cada lago. En estos se observó una tendencia a la separación de las poblaciones de *Cylindrospermopsis* en cada lago; sin embargo, en algunos de los lagos se observaron solapamientos entre las poblaciones dependiendo del tipo de carácter considerado en el análisis.

Tabla 5. Intervalos de medida de los caracteres cuantitativos y caracteres cualitativos de las poblaciones encontradas en los lagos Catemaco, Chalchoapan y Asmolapan.

LAGO	Población	largo célula (µm)	diámetro célula (µm)	relación l-a (µm)	largo heterocito (µm)	diámetro heterocito (µm)
CATEMACO	población 1	3-6	1.5-3	1-4	3-4-6-8	2-3-2
	población 2	6.4-11	0.8-1.2	5.3-13.8	2-4	0.5-1.2
CHALCHOAPAN	población 3	6.1-7.5	0.8-1.3	4.7-9.3	6.1-7.5	0.8-1.3
	población 4	3-8	1.5-2.4	1.3-5.3	2.7-5.9	1.4-2.1
	población 5	3-8	1.7-2.4	1-3-4.7	2-3	1.4-1.8
	población 6	6-8	0.8-1.2	5-10	2-4	1-2
ASMOLAPAN	población 7	5.8-11.1	0.8-1.3	4.5-13.9	5.8-11.1	0.8-1.3
	población 8	4-10	2-5	0.8-5	3.1-6.7	1.4-3.2
	población 9	3-5.7	1.5-2.5	1.2-3.8	3.5-5.8	1.8-2.1

Tabla 5. (continuación)

LAGO	Población	forma del tricoma	forma del heterocito	aerotoxos
CATEMACO	población 1	curvado o en forma de "C"	cilíndrico cónico o cilíndrico elíptico	siempre presentes en abundancia
	población 2	espiralados, ondulados	en forma de gota delgada o anchamente curvada	facultativos
	población 3	recto	recto de lanza, agudo	ausentes
	población 4	recto, ondulado	cónico, cónico curvado	siempre presentes muy escasos
	población 5	curvado o en forma de "C"	cilíndrico cónico o cilíndrico elíptico	siempre presentes en abundancia
ASMOLAPAN	población 6	espiralados, ondulados	en forma de gota delgada o anchamente curvada	facultativos
	población 7	recto	recto de lanza, agudo	ausentes
	población 8	recto, ondulado	cónico, cónico curvado	siempre presentes muy escasos
	población 9	curvado o en forma de "C"	cilíndrico cónico o cilíndrico elíptico	siempre presentes en abundancia



#### IV.1.1 Análisis de caracteres cuantitativos

En este primer análisis sólo se consideraron caracteres cuantitativos tratando con esto de minimizar la subjetividad en el mismo y los resultados son los siguientes:

Para el lago Catemaco Komárková-Legnerová y Tavera (1996) describieron *C. catemaco* y registraron a *C. philippinensis* como parte importante del fitoplancton. En la tabla 5 se indicó la presencia de dos poblaciones diferentes de *Cylindrospermopsis*, la primera de ellas correspondió a la descripción de *C. Catemaco* y la segunda coincidió con el registro de *C. philippinensis* realizado para el lago Catemaco y con la descripción de las poblaciones cubanas (Komárek, 1984).

#### Lago Catemaco

Para el lago Catemaco, el análisis de la figura 4 mostró la formación de tres grandes grupos a una distancia<sup>5</sup> de 7.5: un primer grupo del caso 36 al caso 45, el segundo del caso 18 al caso 1 y un tercer grupo del caso 19 al caso 47. El primer grupo integró individuos similares a la especie *C. philippinensis* (población 1). El segundo grupo, población 2, individuos similares a la especie *C. catemaco* y el tercer grupo reunió individuos que también correspondieron con la especie *C. catemaco* pero que presentaban variaciones en algún carácter, ya que a la primera distancia empleada por este método de análisis (distancia de 2) los grupos se separan por el carácter de largo de la célula y posteriormente se unen considerando los valores de diámetro de la célula. Las medidas de los caracteres y las descripciones cualitativas para las poblaciones se observan en la Tabla 5. En estas agrupaciones se observan algunos individuos de la población 1 intercalados, los individuos 64,66 y 47, (señalados con → en la Fig. 3); los dos primeros coincidieron con los largos celulares de la especie *C. catemaco*, y el tercero es el tricoma más delgado de *C. philippinensis* (1 µm) el cual se encuentra dentro del rango descrito para *C. catemaco* (Tabla 1).

<sup>5</sup> El valor de la distancia indica el grado de relación entre individuos; a menor valor de ésta, la similitud entre los individuos que forman el grupo es mayor.

En el lago Catemaco se presentaron dos poblaciones de dos especies diferentes, una de ellas con variación en el largo de la célula (separada en dos grupos), pero consistente en el diámetro celular (*C. catemaco*), que permitió separarla de otra especie (*C. philippinensis*) las cuales pueden ser identificadas empleando sólo caracteres cuantitativos. Esto se observó en la Tabla 1, donde los valores de los caracteres cuantitativos de los registros mundiales para ambas especies, presentan ligeros traslapes, pero no de importancia, por lo que llegan a separarse.

#### Lago Chalchoapan

El análisis de este lago es muy importante pues en él se encontraron cuatro poblaciones de *Cylindrospermopsis* que en revisiones preliminares (Pág. 9) se habían observado en este lago las cuales presentaron los rangos de medida y caracteres cualitativos mencionados en la Tabla 5. Cuando se efectuó el análisis considerando sólo a los caracteres cuantitativos, se logró la formación de tres grupos a una distancia de 7.5 analizados en la figura 5; del caso 83 al caso 91 el primer grupo, el siguiente del caso 6 al 26, un gran grupo en el que se reunieron la mayor parte de los individuos evaluados para este lago y un tercer grupo bien definido del individuo 4 al individuo 1.

En las revisiones preliminares al microscopio se observaron en este lago 4 poblaciones diferentes de *Cylindrospermopsis* que correspondieron con las descripciones de las especies *C. catemaco*, *C. philippinensis*, *C. raciborskii* y *C. cuspis* (Tabla 1). Los tres grupos mostrados en la figura 5 a esta distancia, señalaron la agrupación de tres poblaciones en la que sólo el tercer grupo reunió en su totalidad a un conjunto de individuos que correspondieron con la descripción de *C. catemaco* efectuada por Komárková-Legnerová y Tavera (1996) para el lago Catemaco. Aquí también se agruparon dos individuos que difieren con esta descripción (el individuo 146, *C. cuspis*, y el individuo 32, *C. raciborskii*, señalados por → en la figura 5) ya que en ambos casos las medidas de las células más largas se sobrelaparon con las medidas de las células más cortas de *C. catemaco* de esta población.

De acuerdo con los resultados del análisis para este lago se observó que, al emplear sólo caracteres cuantitativos existió una ligera tendencia a formar grupos separados con los individuos que pertenecen a diferente especie (como se observa en el grupo de *C. catemaco*, Fig. 5, del caso 4 al caso 1) pero, el grado de traslape entre las otras poblaciones de las especies restantes sigue siendo suficientemente grande para descartar una determinación satisfactoria empleando sólo estos caracteres, pues la primer distancia a la que se forman los grupos (2 aproximadamente) es la que tiene el mayor número de traslapes, lo que significa que el análisis encontró una gran similitud de medidas entre los individuos de cualquier población (Tabla 5) y, entonces, es indispensable el análisis de más caracteres.

En el análisis individual de la relación largo-ancho se obtuvo un solapamiento completo de las especies, es decir no hubo separación de los grupos, ni siquiera se observó una tendencia a la formación de éstos y se muestra en la figura 6. Esto se hizo porque en la bibliografía autores como Komárek y Anagnostidis (1986) dan peso taxonómico a este carácter ya que, la división celular de *Cylindrospermopsis* es en células vegetativas de la zona apical del tricoma y no en zonas meristemáticas y al momento de medirlas es muy probable que se hayan medido aquellas células que estén en división (esto se explica posteriormente).

#### Lago Asmolapan

Para este lago, el análisis de la figura 7 mostró cuatro grupos a una distancia de 7.5. El primero, del caso 85 al caso 111, el segundo del caso 115 al caso 112, el tercer grupo del caso 82 al caso 119 y el cuarto del caso 157 al caso 142.

En los tres primeros grupos se integraron poblaciones de individuos semejantes a la especie *C. raciborskii* los cuales incluyeron en sus agrupaciones individuos afines a la especie *C. philippinensis*; esto es una muestra de la variación, descrita en la literatura, ya que muchos de los registros de medidas para ambas especies están dentro del mismo intervalo (Tabla 1). La cuarta agrupación reunió individuos que correspondieron con la descripción de *C. cuspis*

realizada por Komárek y Kling (1991) para poblaciones africanas, estas se integraron en un sólo grupo (del caso 157 al caso 142). Aún cuando la formación de grupos mostró una tendencia a la separación de especies, se observaron traslapes entre algunos individuos de algunas especies (como lo fue el caso de *C. raciborskii* y *C. philippinensis*), los cuales compartieron rangos de medida dentro de un intervalo similar (Tabla 5), entonces se recurrió a la evaluación de más caracteres para una posible separación de especies como se presenta a continuación.

#### IV.1.2 Análisis de caracteres cuantitativos y cualitativos

Cuando el análisis se efectuó entre caracteres cuantitativos (en este caso la relación largo-ancho) y los caracteres cualitativos (Tabla 3) se observó una separación de las poblaciones casi absoluta (Figs. 8, 9 y 10), a excepción del lago Chalchoapan (Fig. 9) donde las poblaciones de diferentes especies se intercalaron debido a los rangos de medida del carácter cuantitativo evaluado (Tabla 5), es decir la relación largo-ancho; sin embargo, se conservaron grupos de poblaciones bien diferenciadas como se describe a continuación.

##### Lago Catemaco

En el análisis de la figura 8 se observó que a la distancia de 7.5 hubo una separación completa de dos grupos; el primero del caso 59 al caso 34 y del caso 14 al caso 1. Esto corresponde con lo mencionado para este lago (Tabla 4) donde dos poblaciones de *Cylindrospermopsis* fueron reconocidas, una de ellas similar a *C. catemaco* y la otra similar a *C. philippinensis* las cuales, a diferencia de la figura 4 donde sólo se graficaron caracteres cuantitativos, ahora mostraron una separación completa de las especies.

##### Lago Chalchoapan

Chalchoapan es el lago en donde probablemente se encontraban juntas cuatro especies de *Cylindrospermopsis*. Cuando al análisis se incorporaron los caracteres cualitativos y el carácter relación largo-ancho, se tuvo una separación de cuatro grupos a una distancia de 7.5 (Fig. 9). Del caso 150 al caso 143 el primer grupo, del caso 11 al 25 el segundo, del caso 47 al caso 75 el tercero y finalmente del caso 123 al caso 1.

Los individuos de estos grupos correspondieron con lo que se había determinado como población 3, especie similar a *C. raciborkii*, población 4 (similar a *C. cuspis*) población 5 (similar a *C. philippinensis*) y población 6 (similar a *C. catemaco*). Considerando lo anterior, los grupos fueron separados y señalados en el lado izquierdo de la figura donde el primer grupo reunió individuos identificados como *C. cuspis*, y algunos individuos de *C. philippinensis*; en el segundo fueron agrupados individuos de la especie *C. philippinensis*, el tercero se determinó como una agrupación de individuos de *C. raciborkii* y el último grupo reunió individuos identificados como *C. catemaco*, *C. cuspis* y algunos de *C. philippinensis*.

En el primer grupo (del caso 150 al caso 143) se observó una gran cercanía entre las poblaciones similares a *C. cuspis* y *C. philippinensis* debido a los valores muy cercanos de la relación largo-ancho de estas especies (Tabla 5). Al mismo tiempo el programa evalúa caracteres cualitativos como forma del tricoma y por ello coloca a un sector de la población similar a *C. philippinensis* intercalado entre un sector de la población similar a *C. cuspis*. Como el programa a la vez que analiza todos los caracteres, los jerarquiza, es notable que el sector *C. philippinensis* intercalado, se mantiene unido; es decir, no se encontraron casos (individuos) aislados.

El segundo grupo integró una población similar a la especie *C. philippinensis* que el programa colocó cercano al sector de *C. cuspis* por similitud en la relación largo-ancho de ambas especies, pero cohesionado por la forma del tricoma, forma de heterocito, etc. Esto mismo se observa en el grupo 4 (del caso 128 al caso 1). Entonces, a distancias más pequeñas (menores a 7.5) las fracturas en las poblaciones se deben a jerarquizaciones muy estrictas y la ubicación de los grupos intercalados responde por un lado a ese criterio "estricto"; es decir, la ponderación del carácter relación largo-ancho por sobre las formas. Por otro lado, la posición en la que se intercala el grupo y su cohesión, responde a la tendencia del programa a flexibilizar cada vez más la ponderación de los caracteres. Si se observan los señalamientos que dividen a los grupos, los casos *C. philippinensis* se intercalan en *C. cuspis* debido a la semejanza en la medida de la relación largo-ancho, pero se distribuyen debido a las formas de cada uno. En el grupo cuatro, los casos *C. philippinensis* se intercalan

nuevamente en los *C. cuspis* por esa misma semejanza y en este caso se asocian más a *C. catemaco* y *C. raciborskii* que a otros *C. cuspis* o *C. philippinensis*. Otra cosa importante de observar es que el grupo de la especie *C. raciborskii* ya no incluyó en sus agrupaciones a *C. philippinensis* como se presentó en la figura 5 donde se evaluaron sólo los caracteres cuantitativos; sin embargo, ambos se ubican como grupos cercanos.

#### Lago Asmolapan

En el análisis de la figura 10 se obtuvieron tres grupos a una distancia de 7.5: el primero del caso 151 al caso 8, el segundo del caso 133 al caso 142 y del caso 99 al caso 16 el tercero. El primero reunió a individuos muy similares a la especie *C. cuspis* y a individuos similares a la especie de *C. philippinensis*. Nuevamente son dos especies diferentes las reunidas en un mismo grupo a esta distancia debido al intervalo de medida para la relación largo-ancho de ambas especies (Tabla 5) pero, también se observa una tendencia a la integración de individuos de diferentes especies (como en el lago Chalchoapan) y no de manera intercalada como se observa en la evaluación de sólo los caracteres cuantitativos, y es a una distancia menor a la seleccionada (distancia de 7.5) donde el grado de similitud de individuos es mayor. El segundo grupo correspondió a individuos similares a la especie *C. cuspis* el cual se localiza cercanamente al tercer grupo de individuos afines a la especie *C. raciborskii* por la similitud en medidas de la relación largo-ancho (Tabla 5).

Estas agrupaciones, señaladas en el lado izquierdo de la figura mostraron que, retomando la identificación de los individuos, en el lago Asmolapan hay tres especies de *Cylindrospermopsis* que corresponden a *C. raciborski* (población 7), *C. cuspis* (población 8 y *C. philippinensis* (población 9).

Algo importante de resaltar es la similitud de las poblaciones encontradas con las descripciones originales de *Cylindrospermopsis*; por ejemplo, las poblaciones africanas de *C. cuspis* descritas por Komárek y Kling (1991) para el lago Victoria son similares a las poblaciones de esta especie encontradas en los lagos Chalchoapan y Asmolapan de la región de Los Tuxtlas.

Resumiendo, las poblaciones determinadas en cada lago pertenecen a las especies señaladas en la Tabla 6.

Tabla 6. Especies de *Cylindrospermopsis* identificadas para los lagos Catemaco, Chalchoapan y Asmolapan de la región de Los Tuxtlas, Veracruz.

CATEMACO	CHALCHOAPAN	ASMOLAPAN
<i>C. philippinensis</i>	<i>C. cuspis</i>	<i>C. cuspis</i>
<i>C. catemaco</i>	<i>C. raciborskii</i>	<i>C. raciborskii</i>
	<i>C. philippinensis</i>	<i>C. philippinensis</i>
	<i>C. catemaco</i>	

#### IV.1.3 Análisis gráfico

Al evaluar caracteres cuantitativos y cualitativos, con el análisis de conglomerados se obtuvieron agrupaciones que representaron poblaciones de las especies en cada lago, pero era necesario observar la relación que existía entre caracteres, no sólo cuantitativa sino cualitativamente; además, era necesario examinar si la variación entre las poblaciones de cada especie representaba diferentes entidades que se asociaran con su distribución y por lo tanto, con la ecología de cada lago.

Con este propósito se utilizaron las gráficas de radar (polígonos de Davidson). Para la realización de estas gráficas se obtuvo el tamaño de muestra a graficar para cada lago (Tabla 7), mediante el método de proporciones.

TABLA 7. Tamaños de muestra a graficar en los polígonos de Davidson. El tamaño de la muestra se refiere al número de individuos totales registrados.

LAGO	ESPECIE	TAMAÑO DE LA MUESTRA (No)	NO. DE INDIVIDUOS GRAFICADOS (Gráfica de radar)
CATEMACO	<i>C. catemaco</i>	34	16
	<i>C. philippinensis</i>	38	17
CHALCHOAPAN	<i>C. catemaco</i>	10	8
	<i>C. philippinensis</i>	29	15
	<i>C. raciborskii</i>	59	20
	<i>C. cuspis</i>	71	21
ASMOLAPAN	<i>C. philippinensis</i>	12	9
	<i>C. raciborskii</i>	112	24
	<i>C. cuspis</i>	38	16

Cada gráfica mostró la correlación que existe entre los caracteres (representando a un carácter por cada radio) mostrándose así la variación de cada especie; es decir, la variación intraespecífica, además de la expresión interespecífica de los caracteres, las cuales serán analizadas en el mismo orden.

#### IV.1.3.1 Análisis gráfico intraespecífico

##### *C. catemaco*

Al graficar los individuos de esta especie se encontró que en Catemaco (Fig. 12-A) existe una distribución normal en todos los caracteres cuantitativos y en los caracteres cualitativos como forma del tricoma y aerotopos y, una bimodalidad en el carácter de forma del heterocito (Tabla 8). Entre los caracteres largo de la célula y relación largo-ancho se mostraron algunos cruces entre las líneas, en donde algunos individuos con células más largas presentaron una relación largo-ancho con un valor menor y algunas de las células más cortas tuvieron una relación largo-ancho con un valor mayor; aquí se trata de una correlación negativa entre estos caracteres; en todos los demás caracteres se observaron líneas paralelas que mostraron una correlación positiva; además, se apreció como la distribución normal está representada en los caracteres diámetro de célula y diámetro del



heterocito dentro de un rango de poca variación; por el contrario, los caracteres correlacionados negativamente mostraron un rango de variación más amplio.

Por lo anterior, se está hablando de dos entidades de *C. catemaco*, una con heterocitos de forma de gota anchamente curvada y otra con heterocitos de forma delgadamente curvada en las que caracteres como el diámetro de la célula, diámetro del heterocito, la forma del tricoma o la presencia de ciertas estructuras (en este caso aerotopos) se conservan y son confiables en la identificación de una población de *C. catemaco* que puede presentar células delgadas, largas o cortas.

La gráfica poligonal de esta especie para el lago Chalchoapan (Fig.12-B) mostró un comportamiento similar. Una distribución normal en los caracteres diámetro de la célula, largo y diámetro del heterocito, forma del tricoma y presencia de aerotopos. La formación de líneas entre estos caracteres es paralela, lo que se interpreta como una correlación positiva. En el carácter largo de la célula se observó una distribución bimodal al igual que en la relación largo-ancho y la forma del heterocito. Algunos individuos de esta especie mostraron una correlación negativa entre los dos primeros caracteres. Retomando la interpretación de una gráfica de radar en donde la determinación de diferentes entidades se representa por medio de una distribución bimodal en los ejes, entonces se dice que en el lago Chalchoapan *C. catemaco* presenta dos entidades (poblaciones) diferentes, una con células muy largas (a veces son tricomas unicelulares) y otra con células no tan largas, pero más largas que anchas y heterocitos en forma de gota delgada o anchamente curvada donde ambas entidades conservan las demás características de la especie lo cual se observó en los caracteres restantes que, como ya se explicó, todos se distribuyen normalmente.

Cuando se compararon ambas gráficas de la especie *C. catemaco* (Fig. 12) de los lagos Chalchoapan y Catemaco se observó que, a primera vista, la forma de los polígonos de ambas poblaciones es muy similar al sobreponerlas imaginariamente. La distribución de los caracteres es normal y la bimodalidad en el carácter de largo de la célula en el lago Chalchoapan, ahora se presentó como una distribución normal al sobreponerla con el radio

del mismo carácter de la población de Catemaco; lo mismo ocurrió con la relación largo-ancho; sin embargo, siguió presentando la bimodalidad en el carácter de la forma del heterocito; es decir, las dos entidades observadas en las diferentes poblaciones se conservan para ambos lagos.

### *C. philippinensis*

La gráfica poligonal de la población de esta especie en el lago Catemaco (Fig. 13-A), mostró una distribución normal en todos los caracteres excepto en la forma del tricoma donde se observó una bimodalidad (Tabla 8). Entre los caracteres de largo de la célula, relación largo-ancho y diámetro de la célula, se obtuvo una correlación negativa en donde, las células más largas son las más delgadas y viceversa. El resto de los caracteres presentaron una correlación positiva y la bimodalidad presente en la forma del tricoma fue debido a que esta especie presentó un tricoma de dos formas distintas y, por lo tanto, se tienen dos poblaciones (entidades) diferentes de esta especie en donde se pueden presentar tricomas curvados o en forma de "C".

En el lago Chalchoapan (Fig. 13-B) esta población presentó una distribución normal en los caracteres relación largo-ancho, diámetro de la célula y largo y diámetro del heterocito y los caracteres cualitativos de forma del heterocito y presencia de aerotopos. El largo de la célula y forma del tricoma mostraron una bimodalidad en la distribución; la bimodalidad en el primero se puede explicar considerando el rango de medida del largo de la célula en esta especie, el cual va de 2.5-10(18)  $\mu\text{m}$ .

La mayoría de los individuos de la especie *C. philippinensis* medidos en este lago presentaron células que se encontraban en un rango de 3-6  $\mu\text{m}$ ; sin embargo, algunos presentan células más largas. En cuanto a la bimodalidad en el carácter de la forma del tricoma, se interpreta de la misma forma que en el lago Catemaco. Entre los caracteres se observaron ambos tipos de correlación; una correlación positiva la presentaron los caracteres diámetro del heterocito, largo del heterocito y los caracteres cualitativos; entre los caracteres largo de célula y la relación largo-ancho, algunos individuos muestran una correlación

negativa que también se observó en el diámetro de la célula; es decir, las células más o menos largas son menos anchas y tienen heterocitos más largos.

La bimodalidad observada en algunos individuos de *C. philippinensis* indicó que se tienen dos entidades que mostraron una variación en la especie, lo que quiere decir que en Chalchoapan *C. philippinensis* se puede encontrar con tricomas en forma curvada o en forma de "C", en ambos casos con células más o menos largas o muy largas.

La figura 13-C mostró la variación en la población de esta especie en el lago Asmolapan. Nuevamente fueron los caracteres de largo de la célula y forma del tricoma aquellos que señalaron una bimodalidad en los datos (Tabla 8), la cual ya fue explicada. Los demás caracteres, presentaron una distribución normal. Entre los caracteres relación largo-ancho y el diámetro de la célula se observó que hay una correlación negativa al igual que entre el diámetro y largo del heterocito, es decir, células más largas son más delgadas y presentan heterocitos más largos que anchos, este comportamiento también se apreció en las descripciones de estas especies en otras localidades (Tabla 1) lo que significa que estos caracteres son importantes para los trabajos taxonómicos.

*C. philippinensis* fue la única especie que se encontró en los tres lagos; aunque con una mayor densidad en Catemaco. En Asmolapan fueron pocos los tricomas encontrados y muchos menos los que presentaron todos los caracteres elegidos para evaluar. Con la integración de las gráficas por sobreposición se observó que en Catemaco las células son más anchas y los heterocitos también. En Chalchoapan y Asmolapan todos los caracteres se traslaparon. La mayoría de los individuos presentaron células cortas que van de 2.5-6  $\mu\text{m}$ , salvo raras excepciones en el lago Catemaco; podría encontrarse una tendencia en los polígonos a conservar la misma forma pero, a pesar de que el tamaño de muestra graficado está estadísticamente representado (Tabla 7), este es diferente para cada lago lo que podría influir en las ligeras variaciones que se observan entre los polígonos.

*C. raciborskii*

Esta especie sólo se encontró en Chalchoapan y Asmolapan; con densidades poblacionales mayores que *C. catemaco* y *C. philippinensis*.

La figura 14-A mostró para el lago Chalchoapan una distribución normal en cada uno de los caracteres cuantitativos y en los caracteres cualitativos de forma del heterocito y aerotopos pero, una bimodalidad en el carácter forma del tricoma (Tabla 8). Entre los caracteres largo de la célula, relación largo-ancho y diámetro de la célula se observó una correlación negativa; es decir, las células más largas son más delgadas y las células más cortas son más anchas. Existió una correlación negativa entre el largo del heterocito y la forma del tricoma la cual, probablemente, tuvo que ver con la variación que se presentó en ambos caracteres (en Chalchoapan *C. raciborskii* presentó tricomas rectos u ondulados y heterocitos de forma variable); entonces, al relacionar estos caracteres, se crearon los cruces que reflejaron la variación de los individuos. Aquí se puede hablar de dos entidades de esta especie, una con tricomas rectos y otra con tricomas ondulados, ambas con heterocitos de forma variable.

En Asmolapan (Fig. 14-B) la especie se comportó de forma similar a la población de Chalchoapan. La distribución normal observada en los caracteres cuantitativos, excepto en la relación largo-ancho y caracteres cualitativos, excepto en la forma del tricoma (Tabla 8) indicó que existen dos entidades. Se observó una correlación negativa entre el carácter de largo de la célula y los caracteres de la relación largo-ancho y diámetro de la célula; es decir, la especie presentó células más largas que anchas y los heterocitos siguen esta misma relación.

Nuevamente se presentó la variación en la forma del tricoma ya que esta especie se encontró de forma recta u ondulada por lo tanto, se puede decir que en el lago Asmolapan hay dos poblaciones (entidades) de *C. raciborskii* con células más largas que anchas (lo cual se refleja en la bimodalidad del carácter relación largo-ancho), una de ellas con tricomas rectos y otra con tricomas ondulados.

La sobreposición imaginaria de ambas gráficas (Fig. 14) mostró un solapamiento casi en su totalidad; se observó que la forma de los polígonos tiende a ser la misma, pero en Asmolapan los tricomas son más anchos y los heterocitos son más largos y más anchos; sin

embargo, al traslapar los ejes de ambas gráficas se observó una distribución normal de los caracteres que indicó el rango de variación considerado en éste y en otros trabajos taxonómicos de la especie, el cual explica que en ambos lagos se tienen poblaciones de *C. raciborskii* con diámetros celulares variables, en los que hay que poner especial cuidado en determinaciones taxonómicas.

### *C. cuspis*

Esta especie sólo se encontró en los lagos de Asmolapan y Chalchoapan y fue una especie que presentó características diferentes a las demás especies. La forma del tricoma y la forma del heterocito fueron dos caracteres importantes cuando se observó y se midió a los individuos. Al observar el polígono en el lago Chalchoapan (Fig. 15-A) hubo una bimodalidad en los caracteres de largo de la célula, la relación largo-ancho y largo del heterocito (Tabla 8), lo que indicó la presencia de dos entidades de *C. cuspis* en este lago, es decir individuos con células cortas (4-6  $\mu\text{m}$ ) e individuos con células más largas (7-8  $\mu\text{m}$ ), en ambos casos muy delgadas (0.8-1.3  $\mu\text{m}$ ) y heterocitos de 4-5 y 6-8.6  $\mu\text{m}$ . Entre los caracteres de largo de la célula y la relación largo-ancho la correlación fue negativa y para el resto de los caracteres fue positiva.

En Asmolapan el polígono de esta especie (Fig. 15-B) mostró una bimodalidad entre los caracteres de largo de la célula y la relación largo-ancho (Tabla 8); en los demás la distribución fue normal. La bimodalidad observada indicó dos entidades en el lago en donde la mayoría de individuos de la especie se encontraron dentro de un rango de largo de célula de 4-6  $\mu\text{m}$ , pero también hubo algunos individuos de células más largas (7-8  $\mu\text{m}$ ) y en ambos casos son muy delgadas. La correlación entre los caracteres fue positiva salvo entre algunos individuos con células largas ya que la especie presentó tricomas muy delgados (de 0.8-1.3  $\mu\text{m}$ ).

Tabla 8. Lagos en los que se observa una bimodalidad intraespecífica en los ejes del carácter señalado de *Cylindrospermopsis*. Esta bimodalidad indica la presencia de diferentes entidades dentro de cada población de cada especie en los diferentes lagos de la región de Los Tuxtlas, México

CARÁCTER ESPECIE	relacion							
	largo de célula	largo- ancho	ancho célula	ancho heterocito	largo heterocito	forma del tricoma	forma del heterocito	aerotopos
<i>C. catemaco</i>	CHAL.	CHAL.	-	-	-	-	CAT CHAL.	-
<i>C. philippinensis</i>	CHAL. ASMO	-	-	-	-	CHAL ASMO	CAT	-
<i>C. raciborskii</i>		ASMO	-	-	-	CHAL ASMO	-	-
<i>C. cuspis</i>	CHAL. ASMO.	CHAL. ASMO.	-	-	CHAL.	-	-	-

CAT. = Lago Catemaco

CHAL. = Lago Chalchoapan

ASMO. = Lago Asmolapan.

Cuando se sobrepusieron imaginariamente las gráficas correspondientes a los lagos en donde de encontró esta especie (Fig. 15) se obtuvo que, la forma de los polígonos es la misma y, la bimodalidad presentada en el lago Asmolapan en los caracteres de largo de la célula y la relación largo-ancho se observó como una distribución normal al traslapar estos con los correspondientes a estos mismos caracteres para el lago Chalchoapan. Sin embargo, el traslape correspondiente al carácter largo del heterocito continuó presentando una bimodalidad en la que individuos del lago Asmolapan mostraron heterocitos más largos (7-11  $\mu\text{m}$ ) en comparación a los del lago Chalchoapan donde el rango de estos fue de 4-6  $\mu\text{m}$ . Esto indicó que se tienen dos entidades de *C. cuspis*, ambas con un amplio rango de variación en el largo de las células, reflejado en la relación largo-ancho y con heterocitos en forma de punta pero a veces muy largos (hasta de 11  $\mu\text{m}$ ).

#### IV.1.3.2 Análisis interespecífico de los caracteres

Hasta ahora se habló de la “probabilidad” de que las poblaciones de *Cylindrospermopsis* de los lagos Catemaco, Chalchoapan y Asmolapan fueran aquellas especies descritas para el género. Para esto se emplearon gráficas de polígonos de área (Fig. 11) en donde se graficó el valor máximo y el valor mínimo de cada carácter que describe a cada especie. La figura 11 muestra la variación mundial en ocho caracteres (Tabla 1), los mismos que fueron empleados para los análisis de las poblaciones de los lagos de la región de Los Tuxtlas.

En el lago Catemaco los análisis de polígonos de área mostraron la presencia de dos especies bien diferenciadas por los caracteres largo de la célula, relación largo-ancho, forma del tricoma, forma del heterocito y aerotopos. Esto se observa en la figura 16, donde el área del polígono mostró los caracteres “críticos” en los que difiere una especie de otra; además, comparando el polígono A (*C. catemaco*) de la figura 16 con el polígono de la especie *C. catemaco* de la figura 11, la forma es muy similar y se observa el intervalo de la especie. Esta misma interpretación es aplicable para el polígono B (*C. philippinensis*) de la figura 16 al compararlo con el polígono de la especie *C. philippinensis* de la figura 11, ya que la forma de estos es casi idéntica.

En el lago Chalchoapan (Fig. 17) los polígonos de área mostraron aquellos caracteres que separan a las especies, y fueron largo de la célula, relación largo-ancho, largo del heterocito (para *C. raciborskii* y *C. cuspis*) y en los caracteres cualitativos. En estos se observó una zona crítica en la representación; es decir, los sombreados en estos caracteres no se traslapan y se muestran los caracteres críticos útiles en la separación de especies.

Algo más de comparar son los polígonos de los registros de las poblaciones mundiales de las especies *C. catemaco*, *C. philippinensis*, *C. raciborskii* y *C. cuspis* (Fig. 11) con las poblaciones del lago Chalchoapan (Fig. 17). La tendencia de la forma de los polígonos en ambas figuras fue la misma, aunque no dejó de observarse el intervalo de variación de las especies para ambos registros (Tabla 1, registro mundial; Tabla 5, registro para el lago Chalchoapan). Por ejemplo, las

células de la especie *C. catemaco* son menos largas en este lago en comparación al registro que se tiene para el lago Catemaco realizado por Komárková-Legnerová y Tavera (1996), al igual que los heterocitos; o las células de *C. cuspis* también son más pequeñas en Chalchoapan que en lago Victoria como lo describieron Komárek y Kling (1996), sin embargo, ambos ejemplos se encuentran dentro de un rango de variación descrito para estas especies.

En Asmolapan (Fig. 18) la forma de los polígonos de área mostró 3 poblaciones diferentes en el lago, cada polígono con una forma definida. Los puntos críticos se observaron en los caracteres largo de la célula, relación largo-ancho, diámetro de la célula (en *C. raciborskii*), diámetro del heterocito (en *C. raciborskii*), largo del heterocito y en los caracteres cualitativos. La comparación con los polígonos de las poblaciones mundiales (Fig. 11) mostró que aún cuando se observan los intervalos de variación de cada especie, la forma de estos se conserva.

Habiendo caracterizado a las especies, se retomaron los registros bibliográficos y se efectuó la comparación entre las descripciones y registros de cada una de ellas y las poblaciones estudiadas. Así se obtuvieron los intervalos para las poblaciones mexicanas de los lagos de la región de Los Tuxtlas, con la certeza de que describen y caracterizan a las especies debidamente; es decir, las especies mexicanas del género *Cylindrospermopsis* en aguas continentales han sido adecuadamente caracterizadas.

Considerando lo anterior se presenta la clave y descripción de las especies de *Cylindrospermopsis* para algunos lagos de la región de Los Tuxtlas. También se hace mención de la distribución mundial de la especie.



Clave de identificación para las especies de *Cylindrospermopsis*

- 1(a) Tricomas rectos o ligeramente ondulados ..... 2
- (b) Tricomas espiralados, ondulados o curvados en "C" ..... 3
- 2(a) Células con constricciones, sin aerotopos o presentes  
eventualmente. Heterocitos en forma recta de lanza aguda .....4. *C. cuspis*
- (b) Células sin constricciones o sólo ligeras, aerotopos  
presentes, abundantes o escasos. Heterocitos de forma  
cónico o cónico-curvado ..... 3. *C. raciborskii*
- 3(a) Tricoma espiralado o muy raramente recto. Las células  
de 5 a 13.8 veces más largas que anchas. Heterocitos en  
forma de gota delgada o anchamente curvada ..... 1. *C. catemaco*
- (b) Tricoma curvado, en forma de "C" o raramente ondulado.  
Células de 1.2 a 5.3 veces más largas que anchas.  
Heterocito en forma cilíndrico-cónico o cilíndrico-elíptico..... 2. *C. philippinensis*

Descripción de las especies de *Cylindrospermopsis* presentes en la región de  
Los Tuxtlas, México.

1. *C. catemaco* (Lamina I fig. A)

Tricomas espiralados u ondulados, de células de 6-11(17)  $\mu\text{m}$  de largo y de 0.8-1.2(1.3)  $\mu\text{m}$  de diámetro, células de 5 a 13.8 veces más largas que anchas. Heterocitos en forma de gota delgada o anchamente curvada de 2-5.8(-6.8)  $\mu\text{m}$  de largo y de 1.2-2.4(3.2)  $\mu\text{m}$  de diámetro. Facultativamente presentan aerotopos.

Distribución: Tropical, en la región de los Tuxtlas Veracruz, México específicamente en el lago Catemaco (Komárková-Legnerová y Tavera, 1996) y en lago Chalchoapan.

2. *C. philippinensis* (Lamina I fig. B)

Tricomas curvados o en forma de "C", con células de 3-8(-11)  $\mu\text{m}$  de largo y de 1.5-2.5(3)  $\mu\text{m}$  de diámetro, de 1.2 a 5.3 veces más largas que anchas y heterocitos de forma cilíndrico cónica o cilíndrico elíptico de 2-5.8(6.8)  $\mu\text{m}$  de largo y 1.2-2.4(3.2)  $\mu\text{m}$  de diámetro. Presenta aerotopos en abundancia.

Distribución: Pantropical. En el lago Sampaloc en Filipinas (Taylor 1932). En Cuba en El Laguito, Cubanacan, Cd. de La Habana, en la laguna Guayabo ( $T^{\circ}=27-28^{\circ}\text{C}$ ), entre San Pedro de Cacocum y Bayamo, Granma (Komárek, 1984). En el lago Waiberg, un pequeño lago hipereutrófico de la parte central del norte de Florida (Chapman y Schelske, 1997). En el lago Catemaco (Komárková-Legnerová y Tavera, 1996) y en los lagos Chalchoapan y Asmolapan, Los Tuxtlas Veracruz, México.

3. *C. raciborskii* (Lamina I fig. C)

Tricomas rectos u ondulados con células de 3-10(13)  $\mu\text{m}$  de largo y 1.5-5(5.3)  $\mu\text{m}$  de diámetro, de 0.6 a 6.7 veces más largas que anchas. Heterocitos cónicos o cónico-curvados de (2.1)2.7-6.7(8.8)  $\mu\text{m}$  de largo y 1.4-3.2(3.7)  $\mu\text{m}$  de diámetro. Presenta aerotopos muy escasos.

Distribución: Pantropical. Facultativamente de regiones cálidas en zonas templadas. En 1977 Jeeji-Bai *et al.*, lo reportan para el lago Velencei en Hungría, lago El Gato en las costas del sur de Perú, en Kenia y la India y en lago Henmelsdor al norte de Alemania. En Cuba Komárek (1984) lo registra para El Laguito Cd. de la Habana, a veces en charcos y pequeñas lagunas entre San Pedro de Cacocum y Bayamo y en la represa Chalons, cerca de Santiago de Cuba. Generalmente se distribuye en el trópico, rara vez aparece en zonas templadas (por ejemplo en el plancton de verano en las regiones cálidas de Europa). En el lago Volvi en Grecia, un lago de 67.2 km<sup>2</sup>, profundidad media de 13.5 m, un pH de 8-9.3 y temperaturas de 7.0°C en invierno y 29.0°C en agosto de 1996, es una especie raramente ocurente en verano y otoño, a veces es abundante (Hindák y Moustaka, 1988). Chapman y Schelske (1997) lo reportan para los lagos Newnans (en el Condado de Alachua), Griffin, Dora y Eustis (en el Condado Lago) en la parte central del norte de Florida. En el lago Paranoá Brasilia, Brasil; un ambiente eutrófico con concentraciones de clorofila de 15-64 µg·l<sup>-1</sup> en época de secas, y de 23-108 µg·l<sup>-1</sup> en época de lluvias, con una temperatura de 18-28°C y una transparencia de 0.27-1.2 m (Branco y Senna, 1994). En la presa Miguel Alemán Oaxaca, registrada como *Anabaenopsis raciborskii* (Figueroa, 1984). En los lagos Chalchoapan y Asmolapan de la región de Los Tuxtlas Veracruz, México.

#### 4. *C. cuspis* (Lamina I fig. D)

Tricomas rectos, células de 3.8-7(-11) µm de largo y de 0.8-1.3 µm de diámetro, de 4.5 a 8.7 veces más largas que anchas y heterocitos en forma recta de lanza aguda de 5.8-11.1 µm de largo y de 0.8-1.3 µm de diámetro. No presenta aerotopos.

Distribución: Tropical. En el lago Victoria, África Oriental (Komárek y Kling, 1991). En los lagos Asmolapan, Chalchoapan y Nixtamalapan de la región de Los Tuxtlas



## V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### V.1 Análisis de caracteres

Se ha observado como la delimitación de poblaciones de *Cylindrospermopsis* puede darse con la sola evaluación de caracteres cuantitativos cuando las medidas de dos o más especies no se traslapan, como ocurre en el lago Catemaco entre *C. catemaco* y *C. philippinensis* (Tabla 5). Sin embargo, cuando las poblaciones tienen traslapes entre algunos caracteres, como sucede en los lagos Chalchoapan y Asmolapan, la evaluación de éstas requiere del manejo adicional de caracteres cualitativos.

El traslape entre las especies puede ser explicado desde diferentes puntos de vista y no sólo considerando el número de especies encontradas en una localidad. Lo importante aquí es considerar cuáles son aquellos caracteres que se traslapan entre las especies de un género y la posibilidad de alguna relación filogenética entre éstas. Por ejemplo, el tricoma pudo haber sido en algún momento espiral y haber llegado a presentar cambios por presiones selectivas para cambiar a una forma circular, ondulada, recta, etc. en un determinado tiempo evolutivo (tiempos diferentes) para cada forma considerando, en principio, que las especies de un género están emparentadas en un alto grado.

Los análisis de conglomerados que incorporaron caracteres cuantitativos y cualitativos se hicieron con base en la relación largo-ancho y en los caracteres cualitativos (Tabla 3 pág. 19). Dentro de la evaluación de caracteres cuantitativos la relación largo-ancho, presenta mayor peso taxonómico que otros porque disminuyen la similitud entre los individuos de las poblaciones que se analizan. La relación largo-ancho es importante en cianoprokariotes filamentosas porque los tricomas suelen dividirse activamente y esto modifica la medida de largo que tienen las células. En las especies de *Cylindrospermopsis* no hay zonas meristemáticas y, aparentemente, las células crecen hasta alcanzar su tamaño adulto antes de dividirse. En cualquier caso (división activa, división localizada o división hasta alcanzar

el largo total), la proporción de veces que el largo cabe en el ancho de cada célula se conserva. Por lo anterior, la relación largo-ancho refiere esa proporción disminuyendo las diferencias individuales que no caracterizan un patrón estructural, sino que tiene que ver más con el estado fisiológico de cada individuo.

Los análisis mostraron que el asociar caracteres es útil en la identificación de especies en donde a veces los traslapes entre algunos de estos pueden darse, como ocurre para los caracteres cuantitativos en las poblaciones de los lagos Chalchoapan y Asmolapan, pues la descripción de los individuos está asociada con la morfología externa. La incorporación de caracteres cualitativos disminuye el valor de la distancia a la cual se forman los grupos, es decir, el grado de similitud entre los individuos de cada especie es mayor, lo que sugiere que deben incluirse ambos tipos de caracteres. A pesar de ello, algunos individuos se integran a grupos de especies diferentes a la suya; sin embargo, los resultados presentados por los análisis son tan consistentes que estas excepciones son individuos extremos o aberrantes o bien errores de paralaje al medirlos. Además, se observó que cuando una población ("grupos" en el caso de análisis de conglomerados) se separa inicialmente, es decir a distancias pequeñas, en dos subgrupos y posteriormente se fusionan a una distancia mayor, significa que las características cuantitativas y cualitativas tienen diferente peso para el análisis, así como lo tienen también para el taxónomo.

## V. 2 Polígonos de Davidson

El objetivo de trabajar con los polígonos de Davidson fue tener un perfil visualmente accesible de las poblaciones de diferentes localidades tanto mundiales como de la región de Los Tuxtlas, además de relacionar todos los caracteres cualitativos y cuantitativos y mostrar la variación de estos en los diferentes lagos. Esto fue importante pues generó una imagen de la variación de cada especie que fue fácilmente confrontable con la de otra.

Por ejemplo, en la muestra de la población de *C. catemaco* en el lago Catemaco seleccionada al azar para la gráfica de polígonos (Tabla 7 pág. 32, Fig. 12-A) hay una distribución normal en los caracteres cuantitativos, y no una multimodalidad como en la figura 4 para una distancia menor a 7.5. Esto se debió a la evaluación conjunta de caracteres señalada en los polígonos A y B de la Fig. 12; otro ejemplo se muestra en la población de *C. raciborskii* en el lago Chalchoapan, también seleccionada al azar para la gráfica de polígono (Tabla 7 pág. 32, Fig. 14-A) la cual presentó una distribución normal en el carácter largo-ancho, pero no así para el lago Asmolapan (Tabla 7 pág. 32, Fig. 14-B) lo que sugiere que las diferencias cuantitativas en este carácter pueden no presentarse siempre, y ocasionalmente pueden mostrarse traslapes en la agrupación de individuos de esta especie con otros de otra especie diferente, como se observa en la figura 7.

En la comparación simultánea de caracteres, la distribución normal observada en los radios al sobreponer imaginariamente a las gráficas de radar de cada población y la forma muy similar de los polígonos, demostraron cómo es que en cada uno de los lagos se tenían poblaciones diferenciadas, en las que se observaron dos entidades que se conservaron constantes en los tres lagos (Figs. 12-15) y que la variación ocurrida en dichas poblaciones no sobrepasó los límites taxonómicos de la especie. De esta manera, la configuración de las mismas entidades en poblaciones de localidades diferentes y de diferencias que son constantes en la manifestación de un carácter en la misma localidad, como están demostradas siempre por individuos seleccionados al azar, se puede considerar que es constante. Esto es sumamente importante si se considera que en el genoma de cada especie está incorporada una variación que posiblemente este relacionada con condiciones ambientales; sin embargo, aunque los polígonos sugieren que existe una variabilidad genética definida para la especie, no se considera que ésta tenga el suficiente peso taxonómico para distinguir taxa subespecíficos ya que cuando se determinan especies esas formas de variabilidad se describen como intervalos de la especie; o en todo caso se puede hablar de ecoformas de una especie y no de variedades. Podría ser notable que esta variación también fuera constante con respecto a la latitud (distribución geográfica) y entonces podría

pensarse en que debe haber algún o algunos factores del medio que posibilitaran siempre la expresión dual de un carácter. Por ejemplo en *Phormidium autumnale* el cual puede presentarse en colores verde-azul oscuro o violeta al mismo tiempo y se trata de la misma especie (Gardner, 1927; Tavera *et al.*, 1994).

#### V. 2.1 Variación morfológica intraespecífica

La variación morfológica intraespecífica observada en los lagos analizados de la región de Los Tuxtlas, mostró la presencia de diferentes entidades y cómo es que estas se conservan entre las poblaciones de cada lago. Esto se explica a continuación para cada especie.

##### *Cylindrospermopsis catemaco*

En la gráfica poligonal donde se mostró la variación intraespecífica de esta especie (Fig.12), se observó una variación reflejada en la correlación que se dió entre los ejes de largo de célula y la relación largo-ancho, la cual fue negativa (Tabla 8), es decir se trata de tricomas largos y angostos. Esta variación también se vió en la forma del heterocito el cual se encontró en forma de gota, delgado o anchamente curvado equivalente a lo descrito por Komárková-Legnerová y Tavera (1996) como elongado con el extremo agudo y curvo. Esta especie también se encontró en el lago Chalchoapan ubicado a 2 km. aproximadamente del lago Catemaco (Fig. 2) y se observó poca variación entre las poblaciones de ambos lagos. Aquí las células se presentaron más largas (de 6-11(-17)  $\mu\text{m}$ ) y el diámetro está en los intervalos descritos por las autoras antes mencionadas. Del mismo modo, los heterocitos son en forma de gota, delgado o anchamente curvado.

Con la sobreposición imaginaria de los polígonos de la Fig. 12, se mostró como las entidades de ambos lagos presentaban una distribución normal en los radios de todos los caracteres, excepto en la forma del heterocito donde se observó una bimodalidad y la forma de los polígonos se conservó en ambos lagos.



*Cylindrospermopsis philippinensis*

Con la sobreposición imaginaria de los polígonos A, B y C de la figura 13, se observó que la especie no mostraba mucha variación; sólo en un lago (Catemaco, Fig. 13-A), los tricomas fueron más anchos; sin embargo, al traslapar los ejes de los polígonos de los tres lagos, estos presentaron líneas con una distribución normal, y esto se observa como el intervalo de variación en el diámetro del tricoma para esta especie en localidades mexicanas; además, se vió una bimodalidad en el carácter de la forma del tricoma (Tabla 8), ya que en las poblaciones se encontraron tricomas en forma circular o tricomas en forma de "C", además de células más anchas, por lo que en trabajos taxonómicos de la especie es importante observar y poner especial atención en estos caracteres para la identificación de especies.

Las especies de *C. philippinensis* en las poblaciones mexicanas para los lagos Chalchoapan, Asmolapan y Catemaco son muy similares a los registros para lagos asiáticos, africanos y del Caribe. El largo de la célula coincide con los registros de Cuba (Komárek, 1984) y el lago Victoria en África (Komárek y Kling, 1991). En el lago Catemaco (México) Kómárková-Legnerová y Tavera (1996) describen células más grandes, de (10-18(22)  $\mu\text{m}$ ), a las encontradas en Cuba y África. El diámetro celular de los individuos medidos en poblaciones mexicanas coincide con los registros de Filipinas (TAYLOR, 1932), África (Komárek y Kling, 1991) y Cuba (Komárek, 1984). En cuanto al largo de los heterocitos, las medidas coinciden con los intervalos descritos por Komárek (1984) para Cuba y Kómárková-Legnerová y Tavera (1996) para México (lago Catemaco). Los tricomas en los lagos mexicanos son de forma circular o de círculo sin cerrar y, en raras ocasiones el tricoma se encuentra curvado o regularmente espiralado como lo describen Komárek (1984) y Taylor (1932) para Cuba y Filipinas respectivamente. El heterocito generalmente se presenta de forma cilíndrico redondeado y cilíndrico cónico, no se encontró curvado como lo describieron Taylor (1932), Komárek (1984) y Komárek y Kling (1991).

En el lago Chalchoapan *C. philippinensis* se presentó con una mayor densidad; sin embargo, nunca mayor a la de *C. raciborskii* o *C. cuspis*; esto, comenta Komárek (1984) puede estar ligado a las condiciones de competencia por nutrientes entre estas especies ya que, *C. philippinensis* es raro donde hay altas poblaciones de *C. raciborskii*.

#### *Cylindrospermopsis raciborskii*

Los polígonos de la figura 14 mostraron la variación observada en las poblaciones de esta especie en donde se puede llegar a tener tricomas con células muy anchas (más anchas a las reportadas en la bibliografía, Tabla 1), y con tricomas de forma recta u ondulada en ambas poblaciones. Esta variación y la forma de los polígonos en las diferentes poblaciones se conservó en ambas gráficas.

Como ya se explicó *C. raciborskii* es una especie tropical o subtropical, ocasionalmente de áreas templadas (cuando las condiciones son similares a las de los trópicos) y, ha sido registrada para lagos cubanos, africanos, griegos y eslovacos entre otros, como tricomas más o menos rectos, a veces espiralados, con células cilíndricas más largas que anchas, células apicales cónicas o atenuadas y heterocitos en uno o en ambos extremos. En poblaciones cubanas los largos celulares van de 3-6(12)  $\mu\text{m}$  y diámetros de 1.7-3.8  $\mu\text{m}$  (Komárek, 1984), mientras que en el lago Victoria (África) las células se presentan de 2.5-12(16)  $\mu\text{m}$  de largo y (1.7)-2-4  $\mu\text{m}$  de diámetro (Komárek y Kling, 1991).

En los lagos de la región de Los Tuxtlas sólo se encontró en los lagos Chalchoapan y Asmolapan, y las medidas obtenidas para esta especie coinciden con las descripciones para las poblaciones de Cuba (Komárek, 1984), Grecia (Hindak, 1988) y África (Komárek y Kling, 1991). El diámetro de los tricomas corresponde con las descripciones de la especie para Cuba, Grecia y África; sin embargo, en el lago Asmolapan éstos son más anchos (hasta 5 $\mu\text{m}$ ) en comparación a los del lago Victoria que son descritos como los más anchos en la bibliografía (4 $\mu\text{m}$ ) (Komárek y Kling, 1991). Con respecto a los heterocitos

esta especie presenta medidas menores a los registrados por Komárek (1984) en Cuba y Hindak (1988) en el lago Volvi en Grecia. Las medidas mayores de heterocitos de las especies de los lagos mexicanos coinciden con algunos de los registros más pequeños para las poblaciones de Cuba y Grecia; en cuanto a la forma de estos, las poblaciones mexicanas presentan heterocitos de forma cónica alargada ó curvada pero nunca redondeado como los describen Komárek y Kling (1991) en el lago Victoria.

#### *Cylindrospermopsis cuspis*

En la variación reconocida en las gráficas de radar (Fig. 15) correspondientes a esta especie, se observó que fue el largo de la célula y la relación largo-ancho los caracteres que separan entidades bien delimitadas en ambos lagos (Tabla 8); sin embargo, uno de ellos (lago Chalchoapan) mostró heterocitos más largos (hasta de 8  $\mu\text{m}$ ) pero, con la sobreposición imaginaria de ambas gráficas, la distribución se mostró continua en los ejes, y la forma de los polígonos se conservó en las poblaciones de ambos lagos.

Se encontró a esta especie en dos lagos, Chalchoapan y Asmolapan y se observó como una especie con ligeras variaciones en su morfología. En ambos lagos los tricomas son siempre rectos y las células miden de 5.8-7(-11)  $\mu\text{m}$ . Al parecer las células de las poblaciones mexicanas de Los Tuxtlas son de menor tamaño a las descritas para África (Komárek y Kling, 1991), cuyo intervalo de variación es más amplio (de 4-19.5 $\mu\text{m}$ ); además, la forma del heterocito en las poblaciones mexicanas siempre fue de punta aguda.

Lo importante de esta especie es que sólo había sido observada y descrita para el lago Victoria en África y se le encontró en los lagos Chalchoapan y Asmolapan de Los Tuxtlas. Esta distribución de la especie probablemente esté asociada con la distribución latitudinal de la especie ya que, si observamos la figura 1 (Fig.1 Distribución mundial del género *Cylindrospermopsis*) vemos como los lagos mexicanos de la región de los Tuxtlas y el lago Victoria en África, se ubican en latitudes similares (cercaos a los 30° de latitud norte) y

quizás también las condiciones fisicoquímicas de estos lagos sean similares y dependa de estas el desarrollo de esta especie. Aquí podemos observar algunas de ellas:

Tabla 9. Cuadro comparativo de parámetros fisicoquímicos del lago Victoria en África y el lago Chalchopan (México) que pudieran estar determinando la distribución de *Cylindrospermopsis cuspis*.

PARÁMETRO LAGO	PROFUNDIDAD MÁXIMA (m)	PROFUNDIDAD PROMEDIO (m)	CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	TRANSPARENCIA (m)	CLOROFILA ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	pH
VICTORIA (ÁFRICA)*	79	40	145	1-3.9	1.2-5.5	8
CHALCHOAPAN (MÉXICO)*	> 20	-	155	0.5-1.4	3-40	8.8

\*Tomado de TAVERA (1996).

\*Datos originales

Ahora *C. cuspis* ya no presenta una distribución que parecía ser endémica (como la describen Komárek y Kling, 1991) y podemos mencionar una distribución disyunta por encontrarse en el trópico en diferentes regiones.

## V. 2. 2 Expresión interespecífica de los caracteres

En el análisis interespecífico de los caracteres los polígonos de área mostraron aquellos caracteres en los cuales las especies difieren unas de otras y por lo tanto son considerables en estudios taxonómicos.

Por ejemplo, las especies encontradas en el lago Catemaco (Fig. 16) *C. catemaco* y *C. philippinensis* mostraron una expresión interespecífica de los caracteres relación largo-ancho, forma del tricoma, forma del heterocito y aerotopos, pues fue en estos donde se observó el mayor sombreado entre los intervalos graficados. Si bien es cierto que entre los caracteres restantes se ven los intervalos de variación de las especies, son los caracteres

“críticos” los considerados en la evaluación de las especies; esto también se observó en el dendrograma 8, en donde fue la evaluación de estos caracteres la que separó a los grupos.

En el lago Chalchloapan (Fig. 17) la expresión de los caracteres en forma interespecífica se complicó, no sólo porque en este lago se encontró el mayor número de especies, sino también porque muchos de los intervalos de los caracteres tanto cuantitativos como cualitativos se traslaparon (Tabla 5). Por ejemplo, si se observa el carácter de relación largo-ancho para las especies *C. catemaco* y *C. cuspis*, este parecería ser un carácter “crítico” para ambas especies, pues en él se observó una área mayor que incluso llega a abarcar los intervalos de medida de las especies *C. raciborskii* y *C. philippinensis*, en lo que a relación largo-ancho se refiere (Tabla 5). Otro carácter importante podría ser el largo del heterocito en *C. cuspis*, pues fue la especie con heterocitos más largos en este lago.

Los mayores sombreados en estas gráficas se observaron en los caracteres cualitativos; es decir, estos fueron los más importantes en la separación de especies.

Analizando los polígonos de área del lago Asmolapan (Fig. 18) se observó que son las especies *C. raciborskii* y *C. cuspis* aquellas que presentaron el largo de la célula como un carácter “crítico”; sin embargo, probablemente sea la especie *C. cuspis* quien incluyó dentro de esta área el intervalo de la especie *C. raciborskii* (Tabla 5) y, siendo *C. cuspis* la especie con células más largas, esto sea una respuesta a la zona “crítica” (sombreado) del carácter relación largo-ancho de esta especie. Nuevamente el heterocito de *C. cuspis* es el más largo de las especies de este lago y los caracteres críticos bien definidos son los caracteres cualitativos de cada especie.

Esta forma de representación gráfica (polígonos de área) permitió observar como fue necesaria la evaluación conjunta de caracteres tanto cuantitativos como cualitativos y que, además de considerar que dentro de los cuantitativos la relación largo-ancho juega un papel

importante en estudios taxonómicos por lo ya comentado con anterioridad, los caracteres cualitativos son necesarios en la identificación de las especies.

Puede argumentarse, y de hecho es así, que el taxónomo no inicia una caracterización de las poblaciones basándose en medidas, sino más bien en el reconocimiento de las formas (es decir, características cualitativas). Sin embargo, el traslape de esas formas a veces, lejos de resolver, crea aún más dudas; entonces, la certeza de la delimitación debe basarse en la reunión de ambos caracteres (cuantitativos y cualitativos) siempre evaluados a través de la experiencia del taxónomo.

La forma de los polígonos de las poblaciones mundiales (Fig. 11) y de las poblaciones de Los Tuxtlas (Figs. 16-18) llevaron a la identificación y reconocimiento de las especies y los caracteres críticos, es decir los caracteres importantes en estudios taxonómicos de las poblaciones de *Cylindrospermopsis*, fueron los mismos en todas las poblaciones. Esto significa que existen ciertas características medibles que pueden ser útiles en la separación de especies; pero si se emplean conjuntamente con las características que describen a éstas cualitativamente, la identificación sea más satisfactoria.

Considerando lo anterior en la siguiente tabla (Tabla 10) se reunieron los intervalos de los caracteres cuantitativos y cualitativos para los lagos de la región de Los Tuxtlas, los cuáles fueron graficados en polígonos de área (Fig. 19) y comparados con los registros mundiales (Fig. 11).

Tabla 10. Caracteres e intervalos de medida considerados en la evaluación de poblaciones de *Cylindrospermopsis* de algunos lagos de la región de Los Tuxtlas, Veracruz.

Carácter	largo célula (µm)	diámetro célula (µm)	relación l:a (µm)	largo heterocito (µm)	diámetro heterocito (µm)	forma tricoma	forma heterocito	aerotopos
Especie								
<i>C. catemaco</i>	6-11(-17)	0.8-1.2(1.3)	5-13.8	2-4(5)	0.5-1.3(2)	espiralado, ondulado	en forma de gota delgado o anchamente curvado	eventuales
<i>C. philippinensis</i>	3-8(-11)	1.5-2.5(3)	1.2-5.3	2-5.8(-6.8)	1.2-2.4(3.2)	curvado, en forma de "C"	cilindrico-cónico, cilíndrico-elíptico cónico,	abundantes
<i>C. raciborskii</i>	3-10(13)	1.5-5(5.3)	0.6-6.7	(2.1)2.7-6.7(8.8)	1.4-3.2(3.7)	recto, ondulado	cónico-curvado recto de	escasos
<i>C. cuspis</i>	5.8-7(-11)	0.8-1.3	4.5-8.8	5.8-11.1	0.8-1.3	recto	lanza, agudo	ausentes

En el polígono de *C. catemaco* se apreció como las poblaciones encontradas en los lagos de la región de Los Tuxtlas (Fig. 19) conservaron casi la misma forma que la observada en el polígono interno de la figura 11. Esto no es extraño porque Komárková-Legnerová y Tavera (1996) describieron a la especie en la región.

*C. philippinensis* mostró una mayor variación en los caracteres pero, observando los valores mínimos de variación y los caracteres cualitativos de las poblaciones de Los Tuxtlas y los registros de las poblaciones mundiales (Fig. 11) estos son similares y, aunque en las poblaciones de Los Tuxtlas las células son más largas, estas están dentro del rango de variación de la especie. En *C. raciborskii* la variación fue más evidente pero, aún cuando esta fue amplia, los intervalos de valores en la especie tienden a ser muy similares en ambas figuras y sólo se observa la variación. Los polígonos de área de la especie *C. cuspis* son casi iguales en ambas figuras (Figs. 11 y 19).

- Los caracteres taxonómicos están bien establecidos, tanto los cualitativos como los cuantitativos ya que permiten separar poblaciones de cualquier especie del género, independientemente de las diferencias (ecológicas) entre localidades, siempre y cuando se evalúen en conjunto,

- Fue muy importante comparar a las poblaciones de los lagos mexicanos con los reportes mundiales de *Cylindrospermopsis* pues se observó que las especies halladas en Los Tuxtlas es decir, *C. catemaco*, *C. philippinensis*, *C. raciborskii* y *C. cuspi* son posibles de identificar empleando los registros publicados para regiones tropicales. Esta bibliografía ha sido (contrario a lo que comúnmente sucede), la base que ha permitido determinar las especies de las “poblaciones veraniegas” que aparecen en regiones templadas.

- Finalmente, retomando los caracteres y tipos de carácter empleados en la caracterización de *Cylindrospermopsis* se observó que la variación se presenta en caracteres cuantitativos (aún cuando existen traslapes en las medidas) pero, la separación íntegra de las especies se mostró con la adición de caracteres cualitativos; esto hace referencia a lo descrito en la delimitación de este género ya que son los caracteres cualitativos como presencia de aerotopos y forma y posición del heterocito, los caracteres que han sido empleados en los trabajos para la asignación de *Cylindrospermopsis*; sin embargo, los caracteres cuantitativos no dejan de mostrar la variación que se puede presentar en las especies y que es importante considerarla en trabajos taxonómicos.



## VI. PERSPECTIVAS

En la presente tesis se ha realizado un estudio sobre el género *Cylindrospermopsis*. En el se abarcaron diferentes aspectos taxonómicos como los cambios nomenclaturales del género a través del tiempo. También se tocaron aspectos importantes en la evaluación de caracteres para determinación de especies y la importancia taxonómica de éstos.

Uno de los objetivos del trabajo fue realizar una comparación de las poblaciones mexicanas con los registros mundiales que se tienen de las diferentes especies de *Cylindrospermopsis* procurando reunir la mayor cantidad de registros; sin embargo, poco se contemplo las condiciones fisicoquímicas de las localidades en donde han sido registradas las especies.

Aún cuando se mostró que la variación en las poblaciones no dependía de las condiciones ecológicas de los lagos (pues las entidades de diferentes poblaciones se conservaron entre lagos), si se observaron algunos intervalos de variación entre las poblaciones de Los Tuxtlas y los registros que se tienen para el mundo, entonces como una línea que puede derivarse de este proyecto, podría considerarse efectuar una evaluación de las condiciones ecológicas de los lagos en los cuales se ha registrado a *Cylindrospermopsis* tanto en lagos mexicanos como en lagos tropicales, subtropicales y templados en el mundo.

## VII. LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ, J. 1990. *Enciclopedia de México*. Tomo II. Ed. Impresora Mexicana S. A. de C. V. 1212 pp.
- ANAGNOSTIDIS, K y J. KOMÁREK. 1985. Modern approach to the clasification system of Cyanophytes I. Introduction. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* **71**, 1/2. *Algol. Stud.* 38/39: 291- 303.
- BOURRELLY, P. 1970. Les algues d'eau douce. Initiation a la Systematique. III. Les algues bleues et rouges. Paris. N. Boubée & Cie. 512 pp.
- BRANCO, W. C. CH. y P.A. SENNA 1994. Factors influencing the development of *Cylindrospermopsis raciborskii* and *Microcystis aeruginosa* in the Paranoá Reservoir. Brasilia, Brazil. *Arch. Hydrobiol./ Suppl., Algol. Stud.* **75**:85-96.
- CHAPMAN, A. D. y C. SCHELSKE. 1997. Recent appearance of *Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria) in five hypereutrophic Florida lakes. *J. Phycol.* **33**:91 -195.
- COCHRAN, G. W. 1982. Técnicas de Muestreo. Edit. CECSA. 3ª Ed. México, D. F. 703 pp.
- CUADRAS, M. C. 1991. *Métodos de Análisis Multivariados*. De. PPV. Barcelona, España. 435 pp.
- DAVIDSON, J. F. 1947. The polygonal graph for simultaneous portrayal of several variables in population analysis. *Madroño* **9**:105-110.
- FIGUEROA, T. G. 1984. Estudio ecológico de la ficoflora de la presa Miguel Alemán. *Tesis de Licenciatura*. Universidad Nacional Autónoma de México. 201 pp.
- GARCIA, E. 1981. *Modificaciones al sistema de clasificación climática Koeppen*. (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 252 pp.
- GARDNER, N.L. 1927. New Myxophyceae from Porto Rico. *Botanical Garden* **7**:1-144.
- GEITLER L. 1932. L. Rabenhorst's Kryptogamen- *Flora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz*, Vol. Cyanophyceae. Akad. Verlagsges. Leipzig. 1196 pp.
- GONZÁLEZ, S. E; R.DIRZO y R. C. VOGT. 1997. *Historia Natural de Los Tuxtlas*. UNAM. Inst. de Biología, UNAM. CONABIO.
- HINDÁK, F. y MOUSTAKA, M. T. 1988. Planktic cyanophytes of Lake Volvi, Greece. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* **80**, 1-4. *Algol. Stud.* **50 - 53**:497 - 528
- HINDÁK, F. 1988. Planktic species of two related genera *Cylindrospermopsis* and *Anabaenopsis* from Western Slovakia. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* **80**, 1-4. *Algol. Stud.* **50-53**:283 - 302

- HORECKÁ, M. y J. KOMÁREK. 1979. Taxonomic position of three planktonic blue-green algae from the genera *Aphanizomenon* and *Cylindrospermopsis*. *Preslia* **51**: 289 - 312.
- JEEJI-BAI N.; HEGEWALD, E. y SOEDER, C. J. 1977. Revision and taxonomic analysis of the genus *Anabaenopsis*. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 51, *Algol. Stud.* **18**: 3-24
- KOMÁREK, J. 1984. Sobre las cianofíceas de Cuba: 3) Especies planctónicas que forman florecimientos de las aguas. *Acta Bot. Cubana.* **19**: 1-33.
- KOMÁREK, J. y K. ANAGNOSTIDIS. 1986. Modern approach to the classification system of cyanophytes 4 - Nostocales. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 82,3 *Algol. Stud.* **56**: 247 - 345.
- KOMÁREK, J. y H. KLING, 1991. Variation in six planktonic cyanophyte genera in Lake Victoria (East Africa). *Arch. Hydrobiol./ Suppl., Algol. Stud.* 61: 21-45.
- KOMÁREK, J. 1994. Current trends and species delimitation in the cyanoprokaryote taxonomy. *Arch. Hydrobiol./ Suppl., Algol. Stud.* 75: 11-29.
- KOMÁREK, J.; G. MONTEJANO; M. GOLD y R. TAVERA. 1996. Taxonomic identity and distribution of tropical cyanoprokaryotes (Cyanobacteria): An Example from Central México. *Nova Hedwigia, Beih.* **112**: 49-54.
- KOMÁRKOVÁ-LEGNEROVÁ. J. y R. TAVERA. 1996. Cyanoprocaryota (Cyanobacteria) in the phytoplankton of lake Catemaco (Veracruz, Mexico). *Arch. Hidrobiol./ Suppl., Algol. Stud.* **83**:403-422.
- LLORENTE, B. J. e I. LUNA. 1994. *Taxonomía Biológica*. Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 626 pp
- LAMPERT, W. y U. SOMMER. 1997. *Limnoecology: the ecology of lakes and streams*. Oxford University Press. 382 pp.
- PÉREZ, R. A. Y R.B. TORRES-OROZCO. (1992). Geomorfología y batimetría del lago Catemaco, Veracruz. Mexico. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limno. Univ. Nac. Autón. de Méx.* **19**(1): 19-24.
- STUESSY, F. T. 1990. *Plant Taxonomy*. Columbia University Press. USA. 514 pp.
- TAVERA, S. R. 1996. Phytoplankton of the Lake Catemaco. *PhD Thesis*, Biological Faculty, University of South Bohemia, Ceske Budějovicé, Czech Republic. 64 pp.
- TAVERA, S. R.; L. KOVÁCIK y J. KOMÁREK. 1994. Ecophysiological and morphological characterization of some Oscillatorialean species from the Papaloapan basin in Mexico. *Arch. Hidrobiol./ Suppl., Algol. Stud.* **73**:23-41
- TAYLOR, R. 1932. Notes of the genus *Anabaenopsis*. *Amer. J. Bot.*, **19**: 454-463.
- VÁZQUEZ, G. D. 1995. Variación estacional en la composición de especies fitoplanctónicas del lago Catemaco, Veracruz. *Tesis de Licenciatura*. Universidad Nacional Autónoma de México. 64 pp.

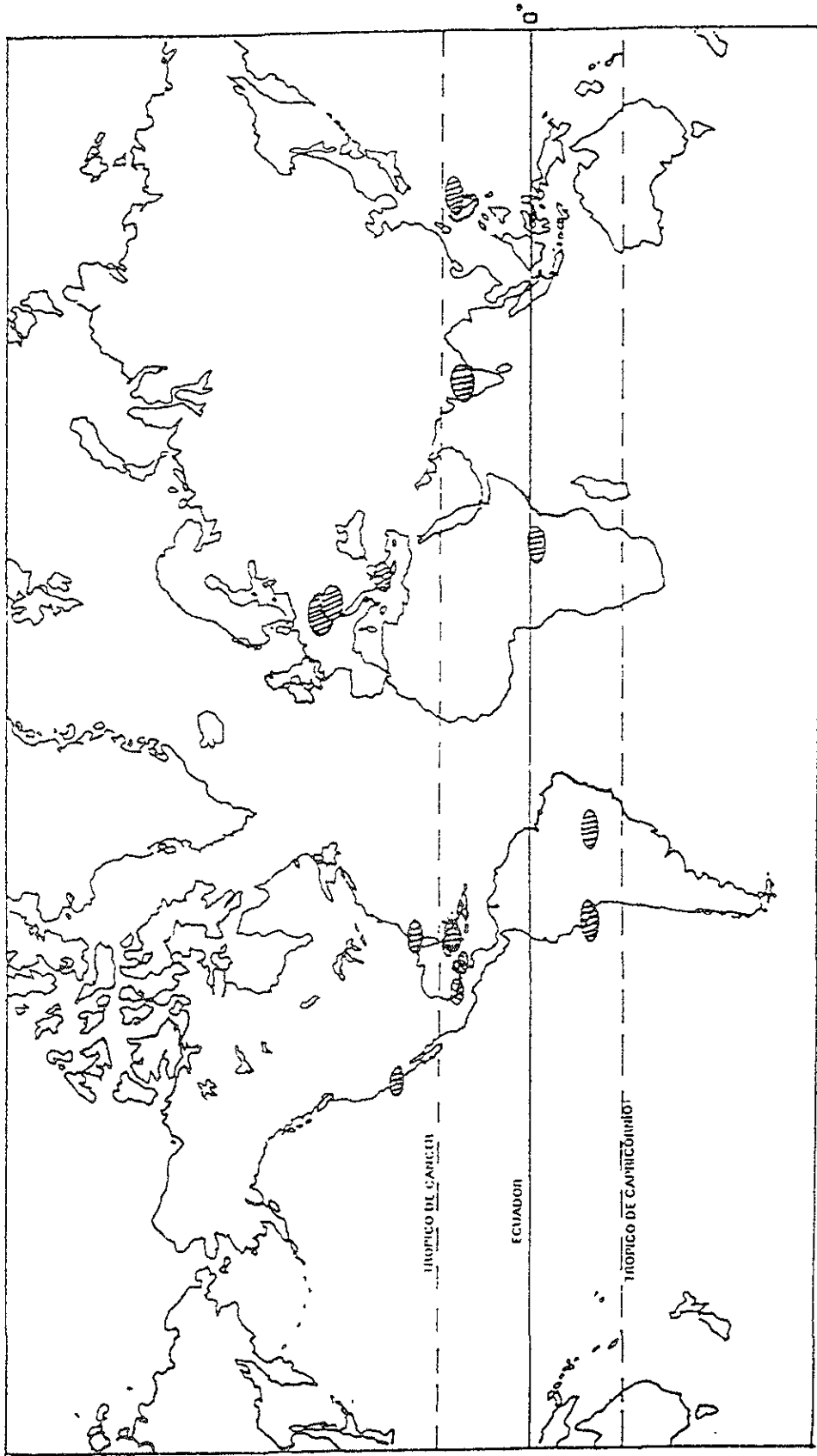


Fig. 1 Distribución mundial del género *CylindrospERMOPSTS*. Tomada de: Taylor (1932) para Filipinas; Jeejt-Bal et al., 1977 para Hungría, Perú, India y Kenia; Komárek (1984) para Cuba; Hindák (1988) para Eslovaquia; Hindák y Moustaka (1988) para Grecia; Komárek y Kling (1991) para África; Branco y Senna (1994) para Brasil; Komárková y Tavera (1996) para México; Chapman y Schelske (1997) para Florida y Tavera (com. pers.) para el sureste de México y sur de Alta California.

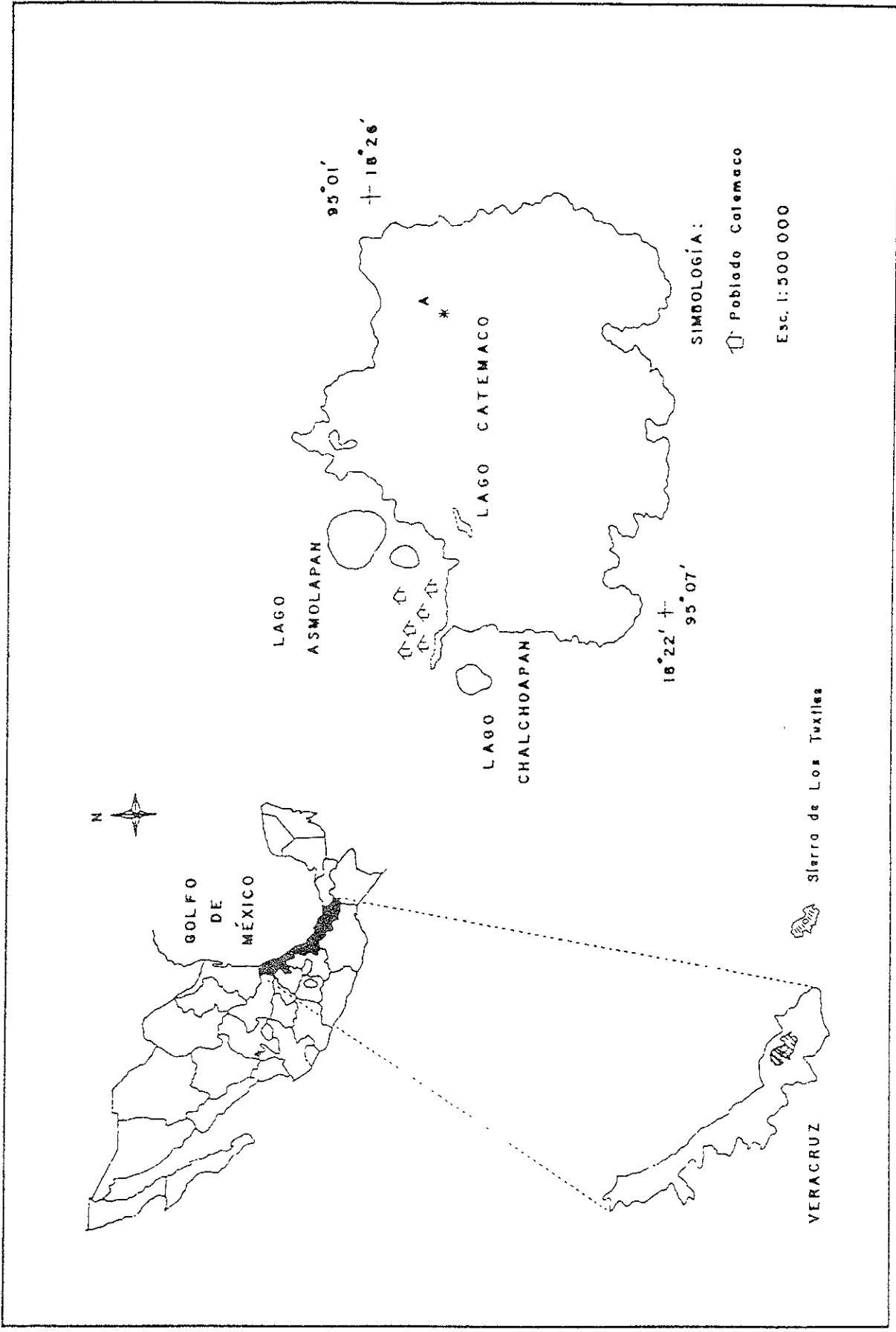


Fig. 2 Ubicación de la zona de estudio: Los Tuxtlas Veracruz, México

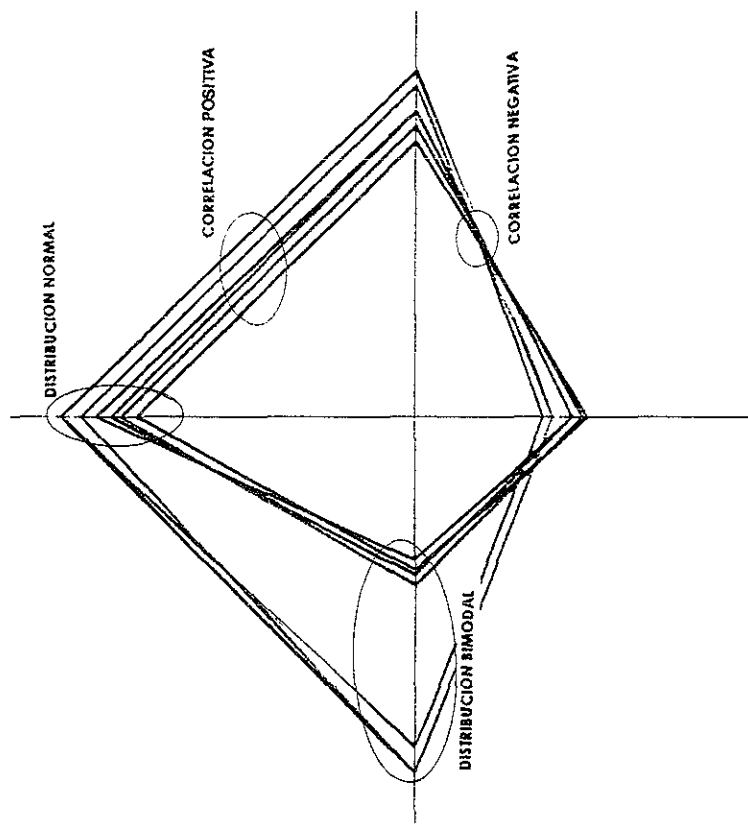


Fig. 3 . Ejemplo de la interpretación de una gráfica de radar (polígono de Davidson). Correlación positiva, líneas paralelas entre un eje y otro; correlación negativa, se observan cruces de líneas entre los ejes; distribución normal, arreglo continuo de líneas sobre el eje y distribución bimodal (multimodal), dos o más agrupaciones de líneas sobre el mismo eje.



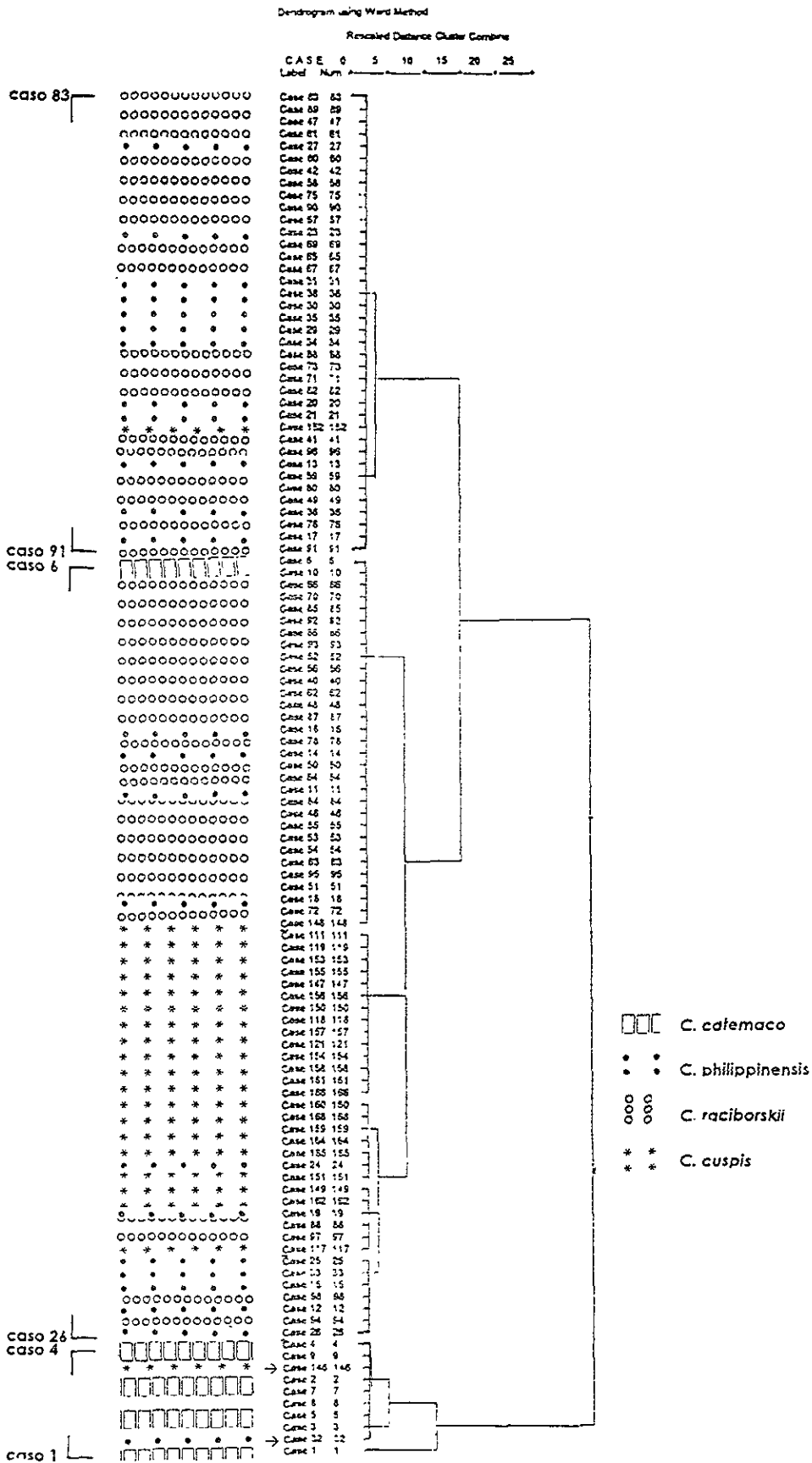
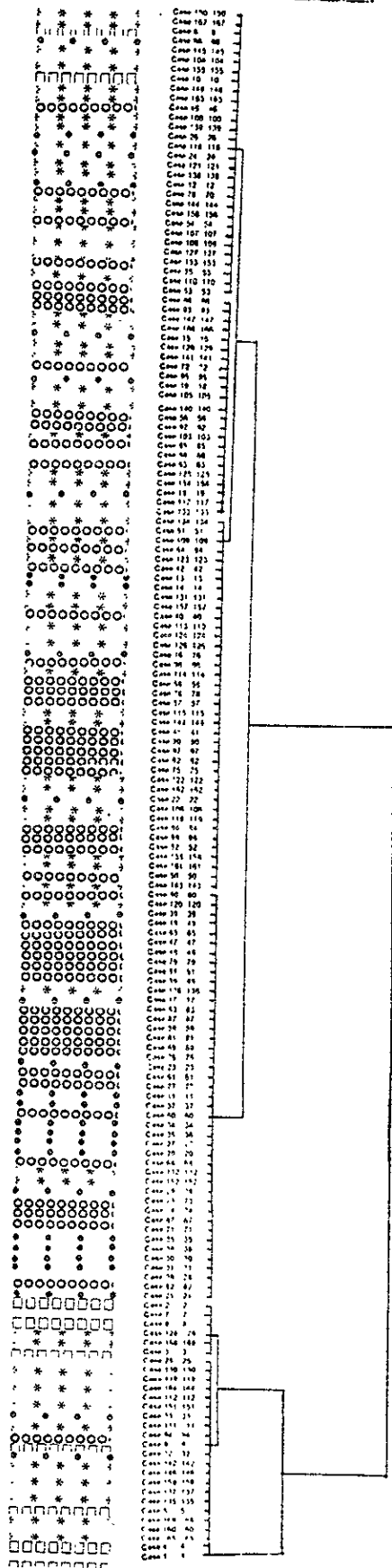


Fig. 5 Análisis de Conglomerados para el lago Chalchoapan considerando sólo caracteres cuantitativos. Los grupos formados por cada una de las especies de *Cylindrospermopsis* están señalados por patrones acotados en el lado derecho.

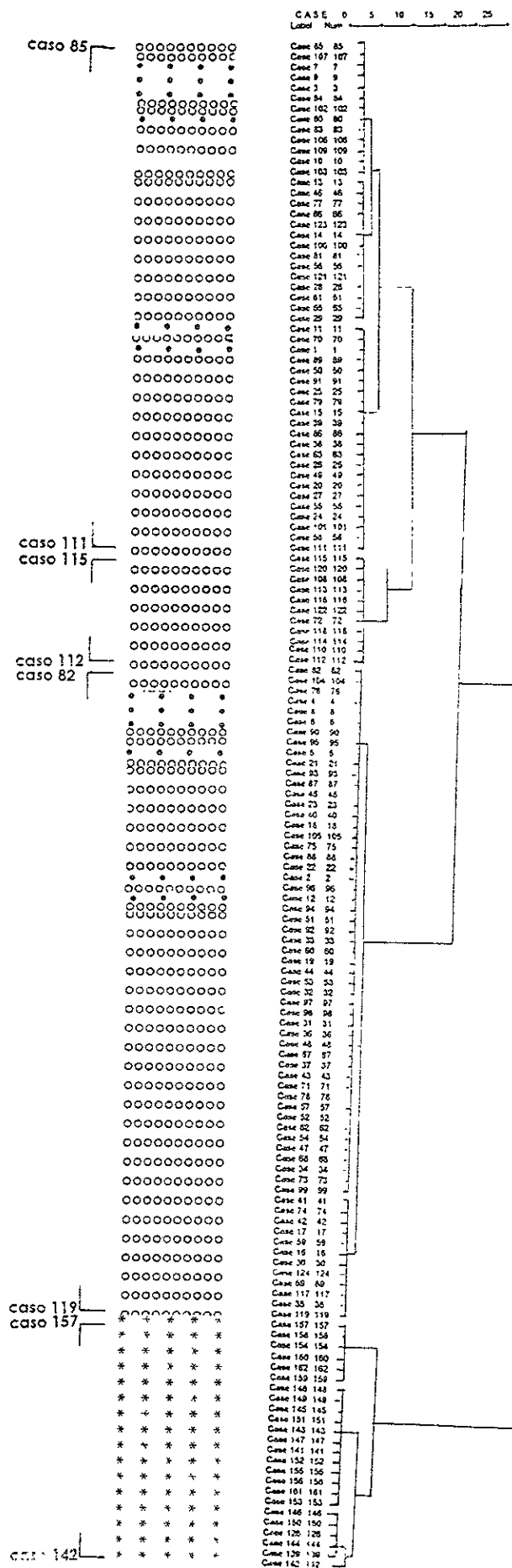




□ □ □ *C. catemaco*  
 • • • *C. philippinensis*  
 ○ ○ ○ *C. raciborskii*  
 \* \* \* *C. cuspis*

Fig. 6 Análisis de Conglomerados para el lago Chalchoapan considerando sólo el caracter relación largo-ancho. Los grupos formados por cada una de las especies de *Cylindrospermopsis* están señalados por patrones acotados en el lado derecho.

Rescaled Distance Cluster Count



• •  
• • C. philippinensis  
  
○○○  
○○○ C. raciborskii  
  
\* \*  
/\* \* C. cuspis

Fig. 7 Analisis de Conglomerados para el lago Asmolapan considerando sólo caracteres cuantitativos. Los grupos formados por cada una de las especies de *Cylindrospermopsis* están señalados por patrones acotados en el lado derecho.

Dendrogram using Ward Method

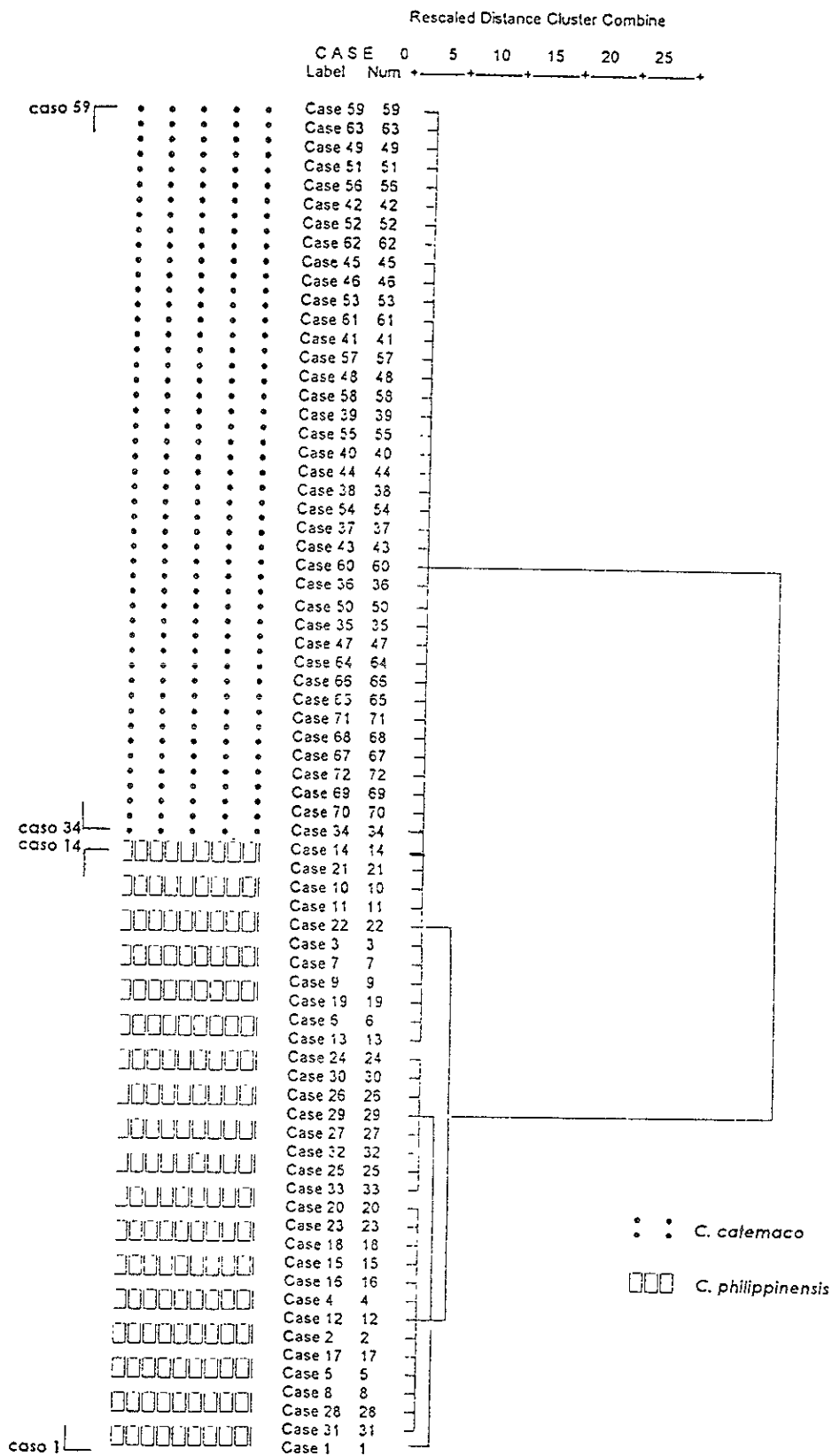
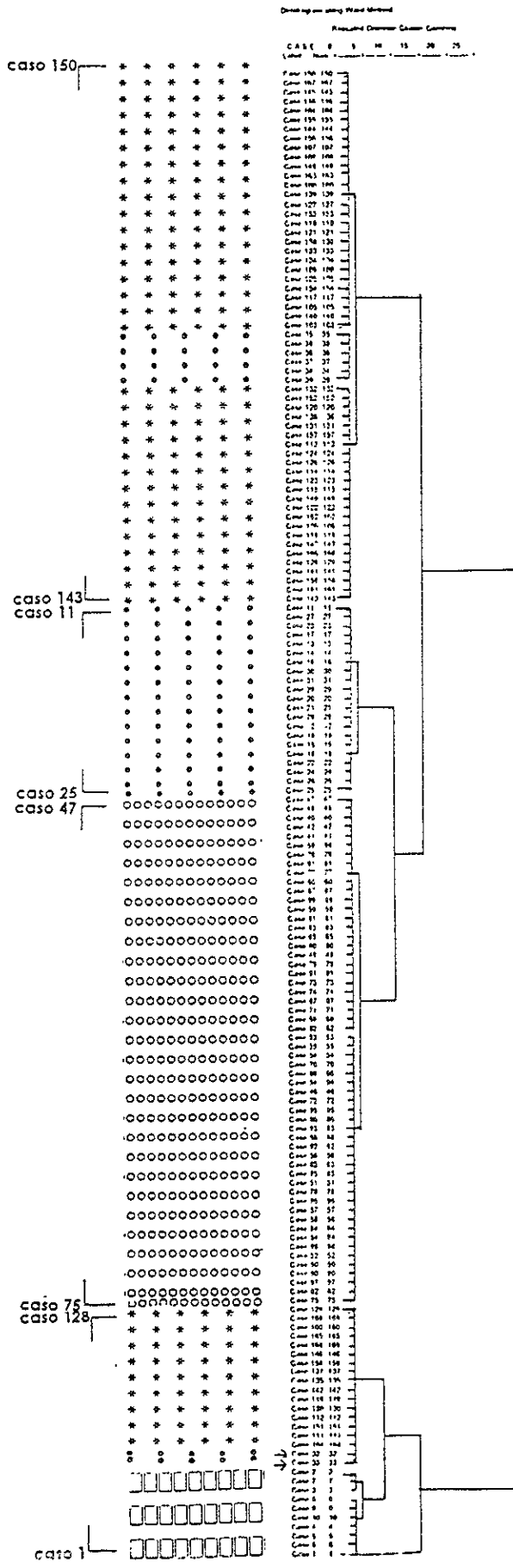


Fig. 8 Análisis de Conglomerados para el lago Catemaco considerando caracteres cuantitativos y cualitativos. Los grupos formados por cada una de las especies de *Cylindrospermopsis* están señalados por patrones acotados en el lado derecho.



- □ □ C. catemaco
- \* \* C. philippinensis
- o o C. raciborskii
- \* \* C. cuspis

Fig. 9 Análisis de Conglomerados para el lago Chalchoapan considerando caracteres cuantitativos y cualitativos. Los grupos formados por cada una de las especies de *Cylindrospermopsis* están señalados por patrones acotados en el lado derecho.

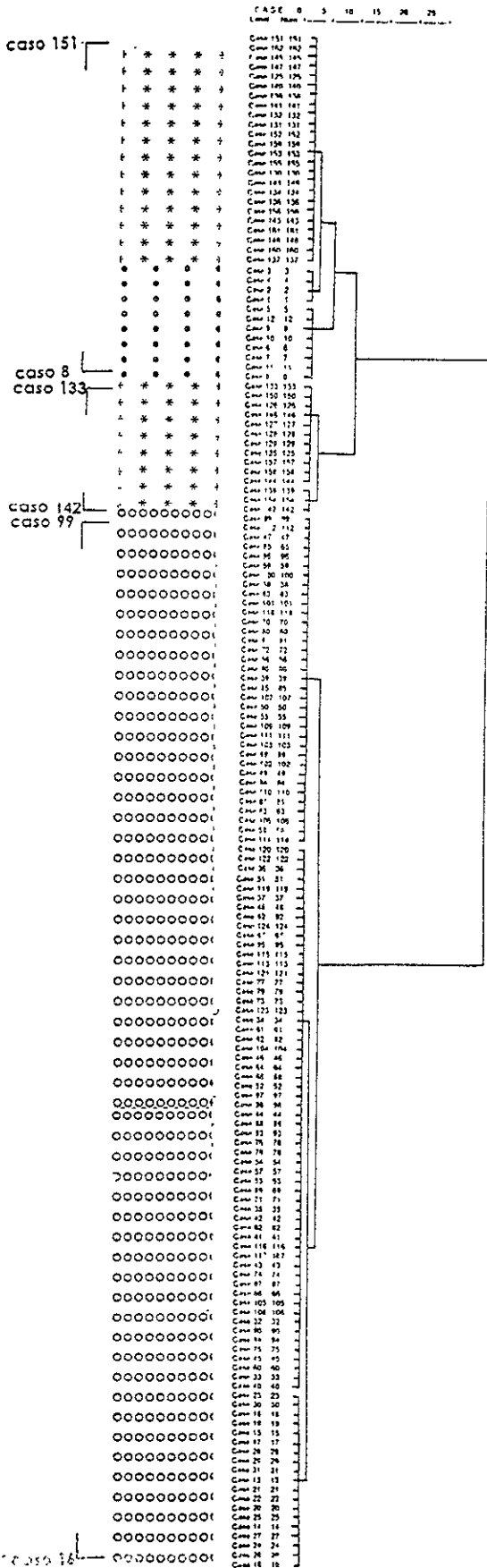
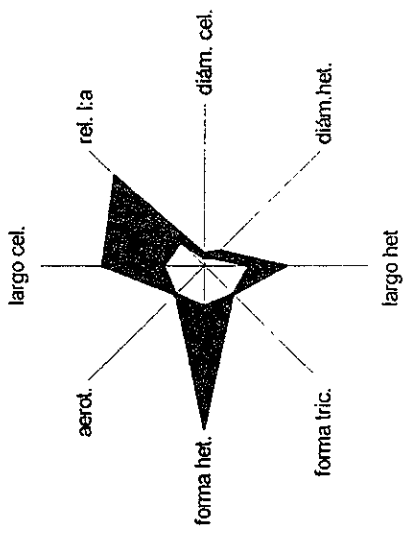
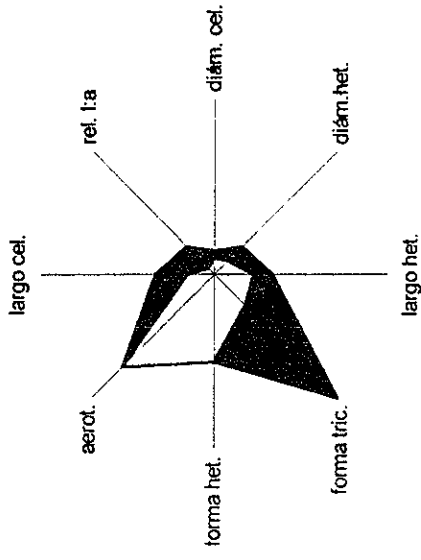


Fig. 10 Análisis de Conglomerados para el lago Asmolapan considerando caracteres cuantitativos y cualitativos. Los grupos formados por cada una de las especies de *Cylindrospermopsis* están señalados por patrones acotados en el lado derecho.

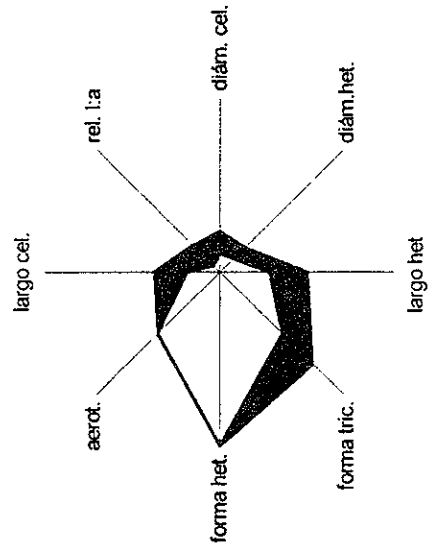
*C. catemaco*



*C. philippinensis*



*C. raciborskii*



*C. cuspis*

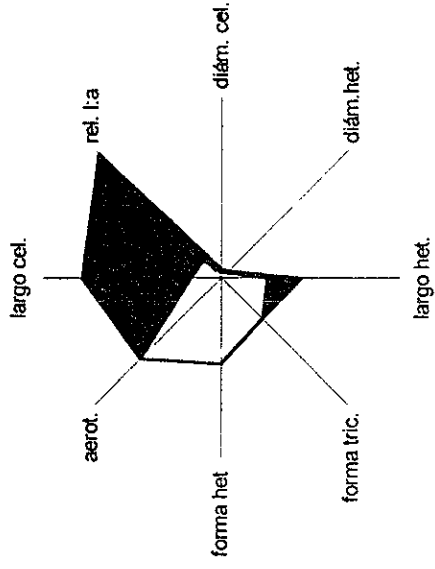
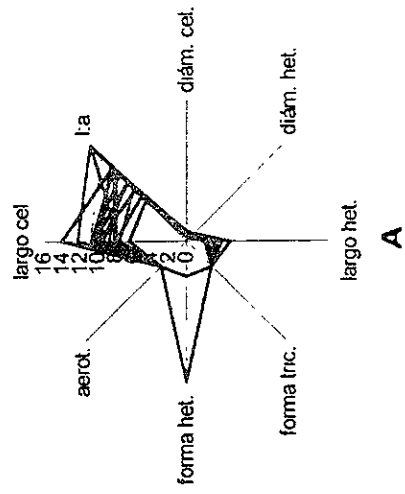


Fig. 11 Gráficas de radar de área para cuatro especies de *Cylindrospermopsis*. En ellas se grafica el valor mínimo y máximo de algunos caracteres registrados en los trabajos taxonómicos del género en el mundo (Ver Tabla 1).

LAGO CATEMACO



LAGO CHALCHOAPAN

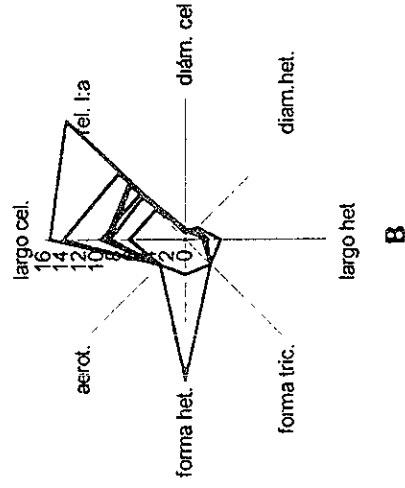
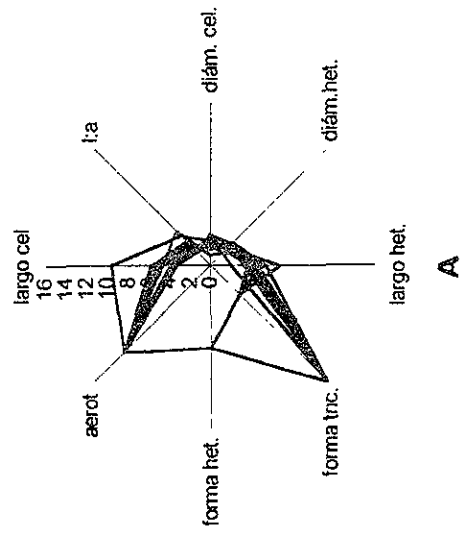


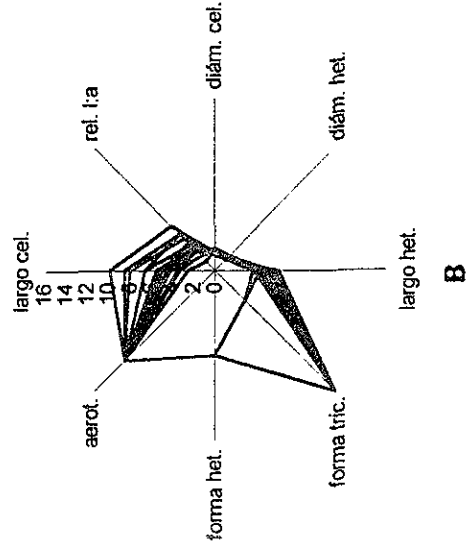
Fig. 12 Graficas de radar de la especie *C. catemaco* para dos lagos de la región de Los Tuxtlas

LAGO CATEMACO



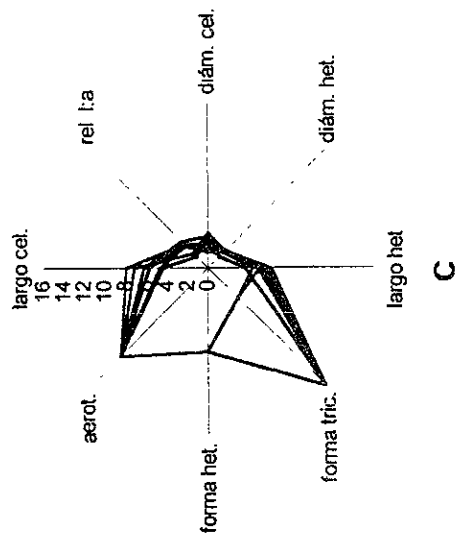
A

LAGO CHALCHOAPAN



B

LAGO ASMOLAPAN

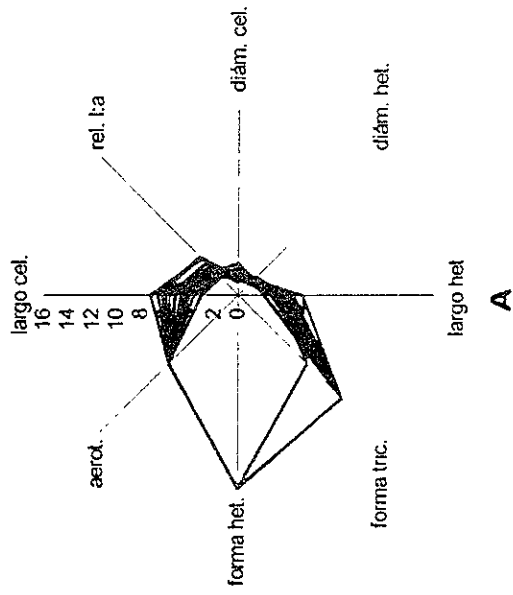


C

Fig. 13 Gráficas de radar de la especie *C. philippinensis* para tres lagos de la región de Los Tuxtlas.



LAGO CHALCHOAPAN



LAGO ASMOLAPAN

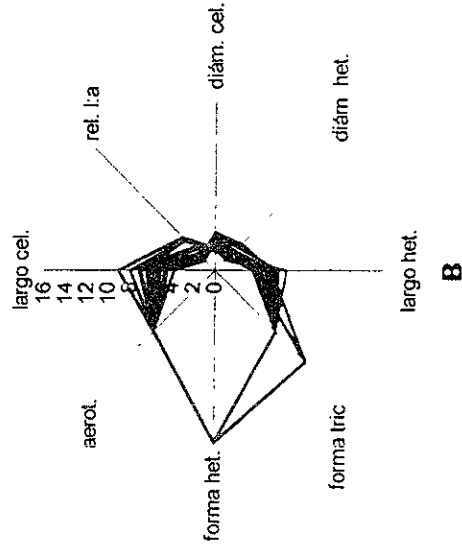
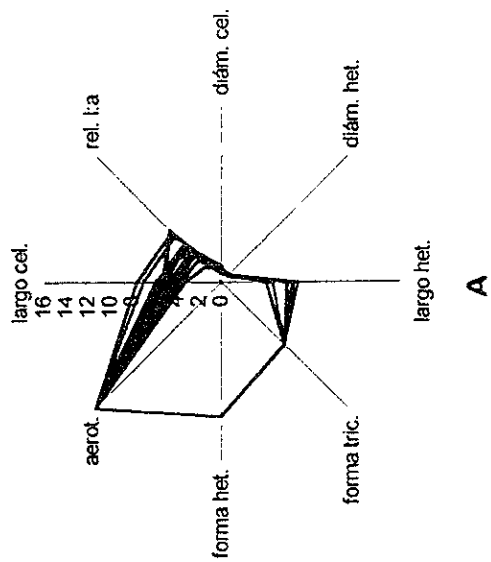


Fig. 14 Gráficas de radar de la especie *C. raciborskii* para dos lagos de la región de Los Tuxtlas.

LAGO CHALCHOAPAN



LAGO ASMOLAPAN

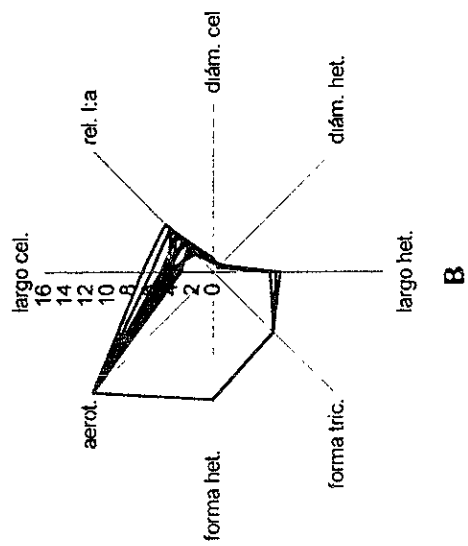
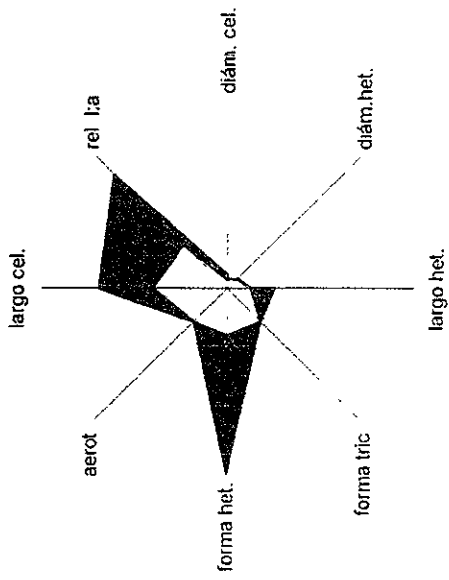


Fig. 15 Gráficas de radar de la especie *C. cuspis* para dos lagos de la región de Los Tuxtlas.

*C. catemaco*



*C. philippinensis*

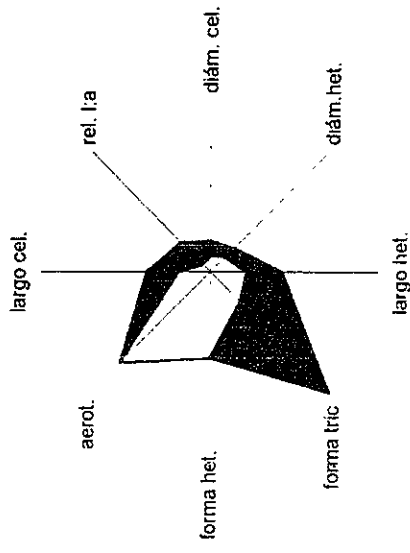
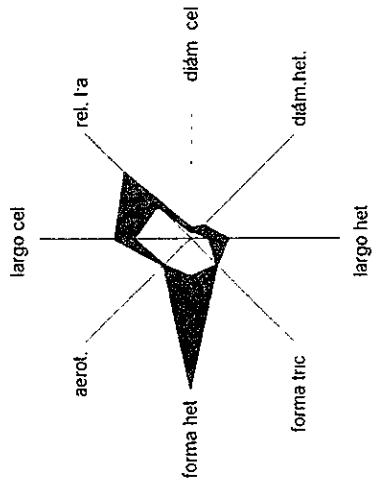
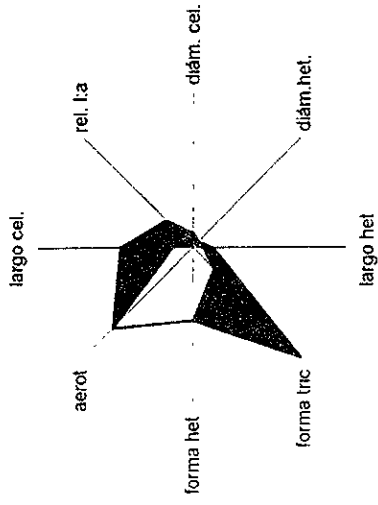


Fig. 16 Gráficas de área para las especies encontradas en el lago Catemaco. En ellas se grafica el valor máximo y mínimo de los caracteres analizados (Ver Tabla 5, poblaciones 1 y 2).

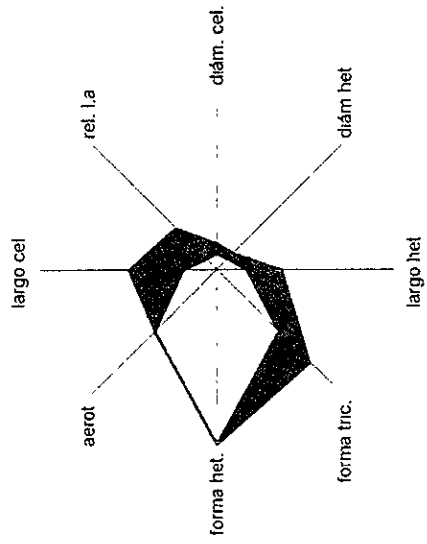
*C. catemaco*



*C. philippinensis*



*C. raciborskii*



*C. cuspis*

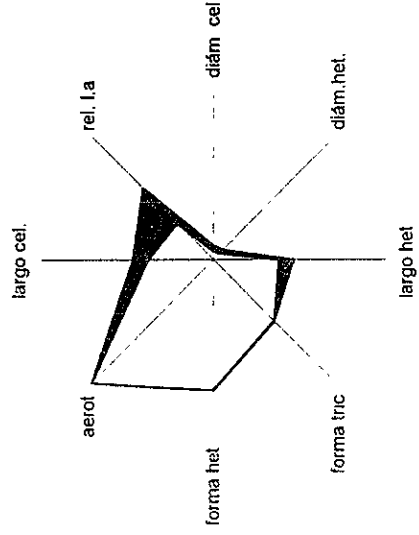
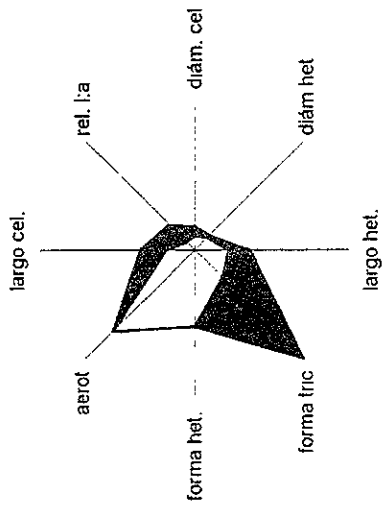
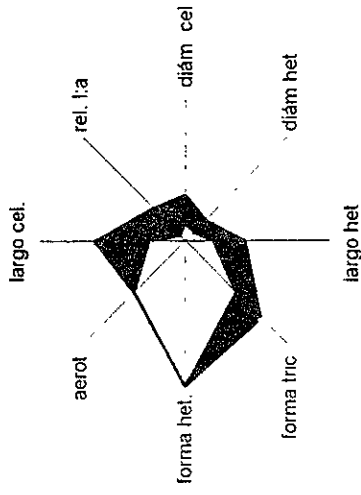


Fig. 17 Gráficas de área para las especies encontradas en el lago Chalchoapan. En ellas se grafica el valor máximo y mínimo de los caracteres analizados (Ver Tabla 5, poblaciones 3 - 6).

*C. philippinensis*



*C. raciborskii*



*C. cuspis*

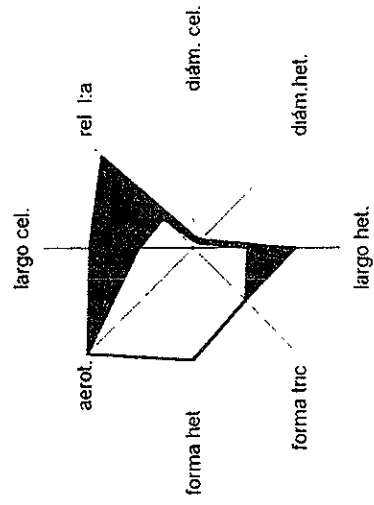
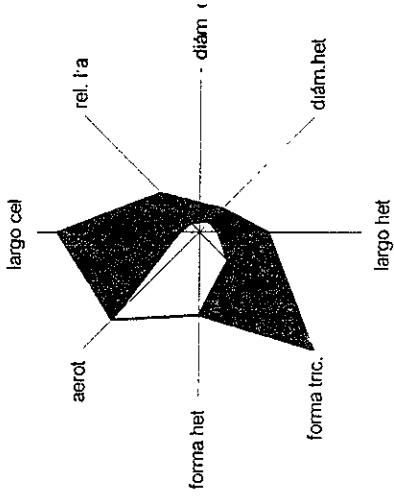
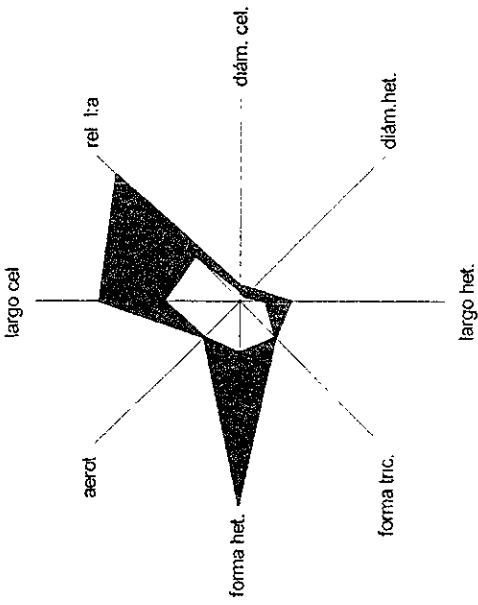


Fig. 18 Gráficas de área para las especies encontradas en el lago Asmolapan. En ellas se grafica el valor máximo y mínimo de los caracteres analizados (Ver Tabla 5, poblaciones 7 - 9).

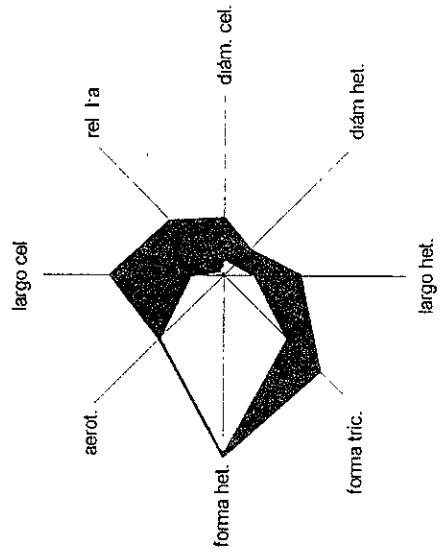
*C. philippinensis*



*C. catemaco*



*C. raciborskii*



*C. cuspis*

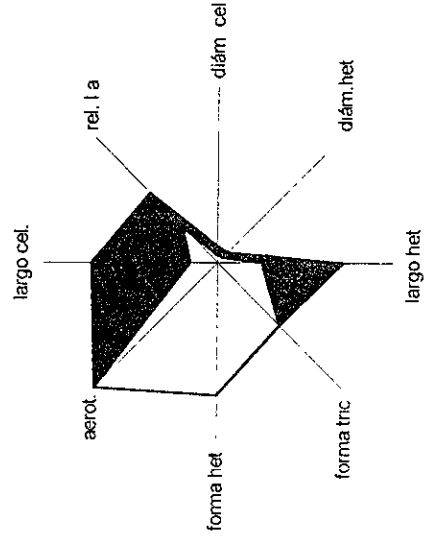


Fig. 19 Gráficas de radar de área para las especies de *Cylindrospermopsis* encontradas en algunos lagos de la región de Los Tuxtlas. En ellas se grafica el valor mínimo y máximo de los caracteres analizados en este estudio considerados en trabajos taxonómicos del género (Ver Tabla 10).