

Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Doctorado en Ciencias Biológicas

Dr. Aarón Rodríguez Contreras
Coordinador del Área de Posgrado en Sistemática Vegetal
Posgrado en Ciencias Biológicas
P r e s e n t e:

Por medio de la presente informamos a ustedes, que habiendo revisado el trabajo de tesis: "*FITOPLANCTON DEL LAGO DE CHAPALA, JALISCO-MICHOACÁN, MÉXICO*", que realizó la pasante: M. EN C. MARÍA DEL REFUGIO ASUNCIÓN MORA NAVARRO, manifestamos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para la autorización de su impresión y en su caso programación de fecha de presentación y defensa del mismo.

Sin otro particular, agradecemos de antemano la atención que se sirva prestar a la presente y aprovechamos la ocasión para enviarle un saludo cordial.

ATENTAMENTE

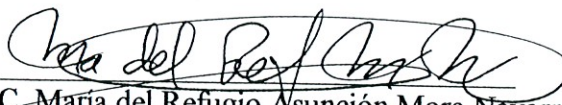
Las Agujas, Zapopan, Jalisco, a 13 de julio de 2004.



Dr. Manuel Guzmán Arroyo
Director del trabajo de tesis



Dr. José Antonio Vázquez García
Co-director del trabajo de tesis



M. en C. María del Refugio Asunción Mora Navarro
Alumna

“Fitoplancton del lago de Chapala, Jalisco, Michoacán, México”.

Por

María del Refugio Asunción Mora Navarro

Tesis presentada como requisito para obtener el grado de


DOCTOR EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(Área Sistemática Vegetal)

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

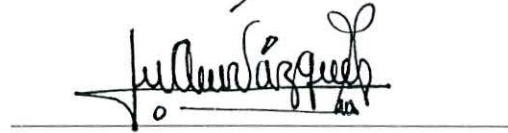
2004

Aprobado por :

Dr. Manuel Guzmán Arroyo
Presidente del Comité Particular del estudiante



Dr. José Antonio Vázquez García
Secretario del Comité Particular del estudiante



Dra. Laura Guzmán Dávalos
Vocal del Comité Particular del estudiante



Dr. Jorge Alberto Pérez de la Rosa
Vocal del Comité Particular del estudiante



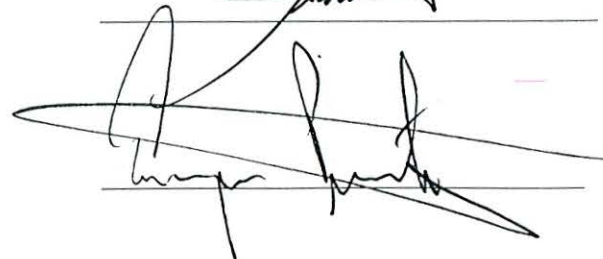
Dr. Eduardo Ríos Jara
Vocal del Comité Particular del estudiante



Dr. Martín Huerta Martínez
Suplente del Comité Particular del estudiante



Dr. Enrique Pimienta Barrios
Secretario Académico del CUCBA



AGRADECIMIENTOS

A los miembros del jurado evaluador de éste trabajo, Doctores Manuel Guzmán Arroyo, J. Antonio Vázquez-García, Servando Carvajal, Eduardo Ríos Jara, Laura Guzmán Dávalos, Jorge Alberto Pérez de la Rosa y Martín Huerta Martínez, por los comentarios y correcciones que mejoraron el escrito y ampliaron mi visión de los aspectos que contiene; de manera especial a los Doctores J. Antonio Vázquez-García, Laura Guzmán Dávalos y Manuel Guzmán Arroyo quienes hicieron posible este trabajo.

Al Doctor Jorge Gonzáles González, Coordinador del Laboratorio de Ficología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), quien me impulso a introducirme en el campo de la Ficología y al personal del mismo laboratorio de quien siempre recibí apoyo, por mencionar algunos de ellos, Michel Gold Morgan, Rosa Luz Tavera Sierra, Eberto Novelo Maldonado.

Al programa de “Ordenamiento ecológico territorial de la vegetación, flora vascular, ficoflora y micobiota de Jalisco” (Universidad de Guadalajara, SIMORELOS-CONACyT 96-06-002 y SEMARNAP). Al programa PROMEP de la Universidad de Guadalajara.

A los doctores Eduardo Ríos Jara y David Siqueiros Beltrones, así como a revisores anónimos de Hidrobiológica por sus constructivas sugerencias al manuscrito. Al personal del Instituto de Limnología, del Departamento de Ecología de la Universidad de Guadalajara, en especial al Dr. Manuel Guzmán Arroyo por haber coordinado los muestreos en campo. A Kandis, Elliot y al Dr. Manuel Guzmán Arroyo por la elaboración de los mapas. Al personal del Departamento de Ciencias Ambientales, de la Universidad de Guadalajara, en particular al Dr. Javier García Velasco, por los análisis de aguas para la determinación de las variables físico-químicas. Al Dr. Arturo Curiel Ballesteros, del Departamento de Ciencias Ambientales, coordinador del Estudio Integral del lago de Chapala (1996-1998), por invitarnos a colaborar en dicho proyecto.

Al personal del Departamento de Botánica y Zoología, en especial a los del Instituto de Botánica, en especial a los estudiantes que han estado en el Laboratorio de Ficología, por su ayuda en múltiples tareas cotidianas que permitieron la continuidad de este trabajo por varios años. A todas mis amigas y amigos que estuvieron apoyándome para la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

*PARA LEONARDO, SALVADOR
Y MUY ESPECIALMENTE PARA JAVIER.*

*A TODA MI FAMILIA QUE HA COLABORADO Y HECHO POSIBLE ESTE TRABAJO
EN ESPECIAL, A HERMILA*

*EN MEMORIA DE
José Morá Zepeda, Tomasa Navarro Ruiz y José Morá Navarro*

ABSTRACT

The phytoplankton richness at Chapala lake resulted outstanding among other Mexican freshwater ecosystems and has an unusually high proportion (24%) of Euglenophyta. An updated checklist of phytoplankton species of the Chapala lake reached 238 taxa comprising 226 species, 92 genera and 44 families. The Chapala lake falls on the saprotrophic type, inferred from compositional microalgi data.

Anabaena populations increased toward sites of high human impact, toward the autumn and winter seasons and toward sampling sites with a combination of high temperature and high soluble oxygen. A low morphological, environmental and seasonal similarity among co-dominant genera to *Anabaena* supports a hypothesis of habitat specialization and processes of niche differentiation. Given the public health problems that *Anabaena* populations may cause studies are urgently needed to resolve its taxonomy and to understand its population dynamics.

Indirect whole community ordination (Bray-Curtis variance-regression) of phytoplankton displayed a major compositional gradient which was explained largely by sulphates ($r=0.751$, $GL=94$, $p<0.001$) and total alkalinity ($r=-0.635$, $GL=94$, $p<0.001$); and an independent secondary compositional gradient was explained by Calcium hardness ($r=-0.617$, $GL=94$, $p<0.001$) and by total water hardness ($r=-0.602$, $GL=94$, $p<0.001$). Species correlated with axis 1, on the multivariate analysis were *Mycrocystis aeruginosa*, *M. flos-aquae* and *Anabaena flos-aquae*, they correspond to the beta-mesosaprobic guild and may indicate intermediate to high levels of pollution. Only *Trachelomona* sp. showed a negative relationship to the previous group and its abundance may indicate less polluted waters.

C O N T E N I D O

Agradecimientos	ii
Dedicatoria	iii
Abstract	iv
Contenido	v
Índice de cuadros y figuras	vi
Índice de fotografías	vii

C A P Í T U L O 1

INTRODUCCIÓN	1
Introducción y resúmenes de capítulos	1
Literatura citada	5

C A P Í T U L O 2

INVENTARIO DEL FITOPLANCTON DEL LAGO DE CHAPALA, JALISCO-MICHOACÁN, MÉXICO	7
Introducción	7
Material y método	8
Resultados y discusión	12
Riqueza y composición del fitoplancton	12
Patrones de distribución de especies frecuentes	13
Eutrofización	14
Literatura citada	16

C A P Í T U L O 3

PATRONES DE ABUNDANCIA DE <i>ANABAENA</i> SPP. (CYANOPHYCEAE) EN EL LAGO DE CHAPALA	45
Introducción	45
Material y método	47
Resultados y discusión	49
Descripción de las especies de <i>Anabaena</i>	49
Patrón de abundancia de <i>Anabaena</i>	50
Abundancia y su relación con variables físico-químicas	51
Abundancia y su relación con géneros co-dominantes	52
Implicaciones para el manejo del lago en relación con <i>Anabaena</i>	53
Literatura citada	55

C A P Í T U L O 4

ORDENACIÓN SOCIOLÓGICA DE MICROALGAS DEL FITOPLANCTON DEL LAGO DE CHAPALA	63
Introducción	63
Material y método	64
Resultados	65
Discusión	66
Literatura citada	73

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

CAPÍTULO 2

Cuadros:

1. Listado florístico del fitoplancton	21
2. Riqueza fitoplanctónica de algunos lagos mexicanos	24
3. Composición fitoplanctónica de algunos lagos mexicanos	24
4. Géneros más frecuentes de microalgas durante 1996	25
5. Géneros más frecuentes de microalgas durante 1997	26
6. Géneros más frecuentes de microalgas durante 1998	26

Figuras:

1. Localización del lago de Chapala	27
2. Ubicación de las 15 estaciones de muestreo en el lago de Chapala	27
3. Proporción de las divisiones de fitoplancton	28
4. Familias con mayor riqueza de fitoplancton	29
5. Géneros con mayor riqueza de fitoplancton	30
6. Patrón de abundancia de <i>Microcystis flos-aquae</i>	31
7. Patrón de abundancia de <i>Anabaena</i> aff. <i>flos-aquae</i>	31
8. Patrón de abundancia de <i>Planctonema lauterbornii</i>	32
9. Patrón de abundancia de <i>Ceratium hirundinella</i>	32
10. Patrón de abundancia de <i>Closterium pronum</i>	33
11. Patrón de abundancia de <i>Staurastrum longiradiatum</i>	33
12. Patrón de abundancia de <i>Aulacoseria italica</i>	34
13. Patrón de abundancia de <i>Pediastrum duplex</i> var. <i>duplex</i>	34

CAPÍTULO 3

Cuadros:

1. Intervalos estadísticos para <i>Anabaena</i> y parámetros FQ	58
2. Matriz de correlaciones de <i>Anabaena</i> y parámetros FQ	58

Figuras:

1. Red de estaciones de muestreo en el lago de Chapala	59
2. Abundancia media de <i>Anabaena</i> en el lago de Chapala	59
3. <i>Anabaena</i> aff. <i>flos-aquae</i>	60
4. <i>Anabaena</i> aff. <i>spiroides</i>	60
5. <i>Anabaena</i> aff. <i>affinis</i>	60
6. Histogramas y regresiones entre <i>Anabaena</i> spp. y parámetros FQ	61
7. Relación de <i>Anabaena</i> spp. con los parámetros FQ	61
8. Relación de <i>Anabaena</i> spp. con la temperatura y el oxígeno disuelto	62
9. Distribución de la abundancia de diez géneros co-dominantes	62

CAPÍTULO 4

Cuadros:

1. Abundancia y riqueza de especies de fitoplancton en periodos de colecta	79
2. Variables físico-químicas (valores promedio en 16 estaciones)	82

Figuras:

1. Ubicación del lago de Chapala	83
2. Patrón de riqueza del fitoplancton	84
3. Ordenación Bray-Curtis varianza regresión de comunidades de fitoplancton	85
4. Regresión de variables FQ que explicaron el eje uno de la ordenación	86
5. Regresión de la variable FQ que explicó el eje dos de la ordenación	87

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<p>Lámina I: Cyanophyceae</p> <p style="padding-left: 20px;">NOSTOCACEAE</p> <p style="padding-left: 40px;">A <i>Anabaena aff. spiroides</i>, 40 x</p> <p style="padding-left: 40px;">B <i>Anabaena aff. flos-aquae</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">C <i>Anabaenopsis elenkinii</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">D <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">E <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">F <i>Anabaena aff. planctonica</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">G <i>Anabaena aff. circinalis</i>, 40 x</p>	36
<p>Lámina II: Cyanophyceae</p> <p style="padding-left: 20px;">CHROCOCCACEAE</p> <p style="padding-left: 40px;">H <i>Microcystis flos-aquae</i>, 40 x</p> <p style="padding-left: 40px;">I <i>Chroococcus limneticus</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">J <i>Microcystis aeruginosa</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">K <i>Microcystis aeruginosa</i>, 40 x</p>	37
<p>Lámina III: Chlorophyceae</p> <p style="padding-left: 20px;">OOCYSTACEAE Y CHLORELACEAE</p> <p style="padding-left: 40px;">L <i>Oocystis lacustris</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">M <i>Oocystis planctonico</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">N <i>Coelastrum sphaericum</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">O <i>Oocystis solitario</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">P <i>Asterococcus sp.</i>, 100 x</p>	38
<p>Lámina IV, Chlorophyceae</p> <p style="padding-left: 20px;">SCENEDESMACEAE</p> <p style="padding-left: 40px;">Q <i>Scenedesmus acuminatus var. asimetricus</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">R <i>Scenedesmus sp.</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">S <i>Scenedesmus bijuga</i>, 40 x</p> <p style="padding-left: 40px;">T <i>Scenedesmus obliquos</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">U <i>Scenedesmus acuminatus</i>, 100 x</p>	39
<p>Lámina V: Chlorophyceae</p> <p style="padding-left: 20px;">HYDRODICTYACEAE</p> <p style="padding-left: 40px;">V <i>Pediastrum duplex var. clatratum</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">W <i>Pediastrum simplex var. duodenarium</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">X <i>Pediastrum simplex var. biwaense</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">Y <i>Pediastrum simplex var. biwaense</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">Z <i>Pediastrum duplex var. gracile</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">AA <i>Pediastrum simplex var. simplex</i>, 100 x</p>	40
<p>Lámina VI: Chlorophyceae</p> <p style="padding-left: 20px;">CLOSTERIACEAE</p> <p style="padding-left: 40px;">BB <i>Closterium aciculare</i>, 40 x</p> <p style="padding-left: 40px;">CC <i>Closterium lunaris</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">DD <i>Closterium aciculare</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">EE <i>Staurastrum longiradiatum</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">FF <i>Closterium sp. 1.</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">GG <i>Closterium sp. 2.</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">HH <i>Closterium gracile</i>, 100 x</p>	41
<p>Lámina VII: Bacillariophyceae</p> <p style="padding-left: 20px;">NAVICULACEAE Y MELOSIRACEAE</p> <p style="padding-left: 40px;">II <i>Navicula spp.</i>, 40 x</p> <p style="padding-left: 40px;">JJ <i>Aulacoseria granulata</i>, 40x</p> <p style="padding-left: 40px;">KK <i>Fragilaria sp.</i>, 40 x</p> <p style="padding-left: 40px;">LL <i>Cymbella aspera</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">MM <i>Cymbella aspera</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">NN <i>Aulacoseria granulata</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">OO <i>Navicula cuspidata</i>, 100 x</p>	42
<p>Lámina VIII: Euglenophyceae</p> <p style="padding-left: 20px;">EUGLENACEAE</p> <p style="padding-left: 40px;">PP <i>Astacea dangerdii</i>, 40 x</p> <p style="padding-left: 40px;">QQ <i>Euglena spiroides</i>, 40 x</p> <p style="padding-left: 40px;">RR <i>Euglena acus</i>, 40 x</p> <p style="padding-left: 40px;">SS <i>Strombomona costata</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">TT <i>Euglena sp.</i>, 40 x</p> <p style="padding-left: 40px;">UU <i>Euglena rostifera</i>, 40 x</p>	43
<p>Lámina IX: Dinophyceae</p> <p style="padding-left: 20px;">CERATIACEAE</p> <p style="padding-left: 40px;">VV <i>Ceratium hirundinella</i>, 100 x</p> <p style="padding-left: 40px;">WW <i>Ceratium hirundinella</i>, 40 x</p> <p style="padding-left: 40px;">XX <i>Ceratium hirundinella</i>, 100 x</p>	44

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN Y RESÚMENES DE CAPÍTULOS

El estudio del fitoplancton del lago de Chapala fue iniciado por la autora y sus estudiantes desde 1986, con propósitos de docencia, en la ex Facultad de Ciencias de la Universidad de Guadalajara. De 1989 a 1991, personal del Instituto de Limnología a cargo del Dr. Manuel Guzmán Arroyo, realizó los primeros muestreos mensuales de fitoplancton. En 1994, dichas colecciones de fitoplancton fueron donadas al Laboratorio de Ficología del Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara. Subsecuentemente, bajo la dirección de la autora, dos estudiantes iniciaron como tesis de licenciatura la identificación de las especies derivadas de dichas colecciones. Como resultado de esta iniciativa se generó el primer inventario de fitoplancton para el lago Núñez y Reyes (1995), el cual sólo representa especies observadas en los meses de febrero a mayo de 1989–1991.

Con el subproyecto “Sistema ecológico integral del lago de Chapala para su conservación y aprovechamiento” dentro del proyecto de “Ordenamiento ecológico territorial del estado de Jalisco”, financiado por FOMES y llevado a cabo por un equipo multidisciplinario se realizaron seis recolectas de fitoplancton en el lago de Chapala en los años 1996, 1997 y 1998 para la observación e identificación de las especies de microalgas, con las cuales se generaron varios trabajos (de la Mora 2001; Mora y Castro 1999, Mora *et al.* 1999a, 1999b, 1999c, 2000, 2004).

En la presente investigación doctoral se planteó realizar tres estudios que involucraran: 1) actualizar el inventario de fitoplancton del lago de forma que sea espacial y temporalmente representativo (capítulo 2); 2) describir el patrón de abundancia de *Anabaena*, especie presente en el lago de Chapala, potencialmente perjudicial para el hombre y los animales (capítulo 3); y 3) dilucidar las variables ambientales que mejor expliquen la estructura de las comunidades de fitoplancton en el lago, con la finalidad de contar con información ecológica objetiva que ayude a la toma de decisiones en su manejo (capítulo 4).

En el capítulo dos se actualizó el inventario de las especies de fitoplancton del lago de Chapala, se ilustraron las especies más representativas, se examinaron patrones de frecuencia de especies comunes como una medida de su nivel de tolerancia a la heterogeneidad ambiental y se evaluó el grado de eutrofización del lago. Se llevaron a cabo 90 muestreos de fitoplancton de red en 15 estaciones, a la salida del lago, en tres meses de 1996, dos meses de 1997 y marzo de 1998. Además, sólo para los fines del inventario se consideraron los muestreos previos realizados de 1989 a 1991. Mediante el método de interpolación por triangulación se calcularon isolíneas de frecuencia para ilustrar espacialmente el gradiente de abundancia de ocho especies representativas de fitoplancton. Se usó un coeficiente de asociación para determinar el grado de eutrofización del lago. Los principales resultados incluyeron: 1) un inventario que consistió de 238 taxa, correspondientes a 226 especies, en 92 géneros, 44 familias y 5 divisiones. De las especies registradas 110 se encontraron en los muestreos *ex profeso* para este estudio. De las 226 especies, la división Chlorophyta fue la de mayor riqueza (73), seguida de Chromophyta (69), Cyanophyta (55), Euglenophyta (26) y Dinophyta (3). Las familias más ricas fueron Chroococcaceae (12%), Euglenaceae (12%) y Naviculaceae (10%). El fitoplancton del lago de Chapala con 226 especies, es hasta ahora el de mayor riqueza en México, quizá relacionado al tamaño de su embalse. Sin embargo, los estudios en muchos otros lagos de México, e inclusive en Chapala, distan de ser representativos tanto espacial como temporalmente. 2) Los patrones de frecuencia de las especies de fitoplancton sugieren un escenario de especialización de hábitat, en donde coexisten especies generalistas de amplia tolerancia ambiental o biótica y especialistas de gran sensibilidad a la variación ambiental o biótica. 3) El patrón de eutrofización varió en los años de muestreo y parece no estar relacionado a los cambios de las estaciones del año. *Microcystis aeuruginosa*, *M. flos-aquae* y *Anabaena* aff. *flos-aquae* podrían servir como indicadoras de contaminación.

En el capítulo tres se describen brevemente las especies de *Anabaena* encontradas en el lago de Chapala, su patrón de abundancia espacio-temporal y su relación con variables físico-químicas y con la abundancia de otros géneros codominantes del fitoplancton y se discuten las implicaciones para el manejo del lago. Se hicieron muestreos en 15 estaciones y se determinaron los parámetros físico-

químicos. Seis clases de abundancia se usaron para identificar el patrón espacial y seis fechas de muestreo para el patrón temporal. Mediante un análisis de regresión se explicó la relación entre la abundancia de *Anabaena* y las variables físico-químicas medidas. La relación entre variables se basó en la técnica de clasificación de Ward y de manera directa se graficó la abundancia de los géneros co-dominantes con *Anabaena*. Los resultados de este capítulo se describen a continuación: **1)** Se determinaron tres especies de *Anabaena*: *A. aff. flosaquae*, *A. aff. spiroides* y *A. aff. affinis*. La determinación correcta de las especies queda pendiente al estudio de los acinetos, que en la mayoría de las muestras no fueron observados. **2)** *Anabaena* spp. predominó en lugares de mayor impacto antrópico y en los períodos de otoño e invierno pero en los sitios de mayor temperatura y oxígeno disuelto. La actividad pesquera, turística y la desembocadura del río incrementan los niveles de nitrógeno y oxígeno disuelto, elevando así las poblaciones de *Anabaena*. Aunque el patrón temporal es todavía cuestionable, pues requiere de periodicidad en los muestreos, la disminución de las poblaciones de *Anabaena* spp. durante la primavera, apoya una hipótesis de exclusión competitiva y/o de especialización de hábitat, en la cual *Anabaena* es excluida durante el período favorable (verano) para varias especies fitoplancton del lago de Chapala, mientras que prolifera durante el periodo más desfavorable (otoño-invierno) para tales especies, por alguna ventaja competitiva; y **3)** *Anabaena* spp. mostró más correlación con la abundancia de *Planctonema* que con el resto de los géneros co-dominantes. La poca similitud morfológica, ambiental y temporal entre los géneros apoya una hipótesis de especialización espacio-temporal por hábitat.

En el capítulo cuatro se investigó cuales variables físico-químicas explican mejor los ejes de composición florística de las comunidades de fitoplancton en el lago de Chapala. Con base en datos de presencia-ausencia, se ordenaron 96 muestras de fitoplancton, con 116 taxa. Los resultados obtenidos fueron: **1)** El gradiente primario de la composición de comunidades, generado mediante la ordenación de Bray-Curtis varianza-regresión, fue explicado por la concentración de sulfatos ($r=0.751$) y en relación inversa por la alcalinidad total ($r=-0.635$). **2)** El gradiente secundario de la estructura de comunidades, el cual es independiente del primario, fue explicado por la dureza debida al calcio ($r=-0.617$) y por la dureza total ($r=-0.602$). Las restantes

variables medidas (16) no mostraron relación con los principales ejes de la ordenación de las comunidades. Los datos sugieren para la mayoría de las comunidades de fitoplancton una preferencia de hábitat hacia altas concentraciones de sulfatos y baja alcalinidad total, mientras que para ciertas especies una especialización hacia alta alcalinidad y bajas concentraciones de sulfatos. 3) Se reconocen dos grupos de comunidades, los cuales además de estar separados por diferencias en concentración de sulfatos y alcalinidad total muestran una relación con el último periodo de colecta. La disminución del azufre, disponible como sulfatos y el incremento de alcalinidad de 1996-1998, debida a la disminución del nivel del lago, asociados al fenómeno de El Niño (1996-1998), explican también la disminución de la riqueza de especies observada en dicho periodo. En conclusión, los sulfatos y la alcalinidad fueron más importantes para la composición y riqueza de las comunidades de fitoplancton en el lago de Chapala.

LITERATURA CITADA

- De la Mora Orozco, C. 2001. Evaluación de la calidad del agua en el lago de Chapala durante 1996-1997. Tesis de Maestría en Salud Ambiental. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco. 140 pp.
- Mora Navarro, M. R. y T. Castro Cruz. 1999. Fitoplancton del lago de Chapala. De Vinci 1(1): 39-42.
- Mora Navarro, M. R., T. Castro Cruz y M. Guzmán Arroyo. 1999a. Fitoplancton del lago de Chapala. P. 50. En: Resúmenes 3º Congreso Mexicano de Ficología. Sociedad Ficológica de México, La Paz, Baja California Sur.
- Mora Navarro, M. R., T. Castro Cruz y M. Guzmán Arroyo. 1999b. Flora fitoplanctónica del lago de Chapala, Jalisco, Michoacán. P. 59. En: Memorias, V Jornadas de Biología. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco.
- Mora Navarro, M. R., T. Castro Cruz y M. Guzmán Arroyo. 1999c. Microalgas de importancia encontradas en el fitoplancton del lago de Chapala, Jalisco, Michoacán. P. 37. En: Memorias, V Jornadas de Biología. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco.
- Mora Navarro, M. R., M. Guzmán Arroyo y E. G. Robles Jarero. 2000. El alga *Anabaena* sp. en el lago de Chapala. Pp. 122-123. En: E. Ríos Jara, E. Juárez Carrillo, M. Pérez Peña, E. López Uriarte, E. G. Robles Jarero, D. U. Hernández Becerril y M. Silva Briano (eds.). Reunión del X Aniversario de la Sociedad Mexicana de Planctología, Estudios sobre Plancton en México y el Caribe. Sociedad Mexicana de Planctología y Universidad de Guadalajara, Chapala, Jalisco.
- Mora Navarro, M. R., J. A. Vázquez García y Y. L. Vargas Rodríguez. 2004. Ordenación de comunidades de fitoplancton en el lago de Chapala, Jalisco-Michoacán, México. Hidrobiológica (en prensa).
- Núñez Márquez, G. y G. E. Reyes González. 1995. Contribución al conocimiento del fitoplancton del lago de Chapala, Jalisco, México, durante el periodo de febrero a

mayo de 1989, 1990 y 1991. Tesis de Licenciatura en Biología. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco. 69 pp.

CAPÍTULO 2

FITOPLANCTON DEL LAGO DE CHAPALA, JALISCO-MICHOACÁN, MÉXICO

INTRODUCCIÓN

En México el conocimiento de las algas de aguas continentales es muy limitado, con excepción de algunos estudios hidrobiológicos, limnológicos y ficoflorísticos (Cortés 1989, Lind y Dávalos 1991; Gold *et al.* 1994; Ortega *et al.* 1995; Tavera 1996; Valadéz *et al.* 1996; Mora *et al.* 2004). Esta limitación refleja, en parte, la poca prioridad nacional que se ha dado a estudios del fitoplancton, principalmente por falta de conciencia de cómo éstos recursos están directa o indirectamente ligados al desarrollo económico.

El lago de Chapala es el más grande de México, es la fuente principal de abasto de agua para la zona metropolitana de Guadalajara y es una fuente importante de trabajo de los lugareños de la rívera (Estrada *et al.* 1983). Dada la importancia que tienen las algas como bioindicadoras, productoras de oxígeno, fuente de alimento, depuradoras de sustancias contaminantes, fuente de olores y sabores en el agua potable, es de suma importancia determinar la ficoflora del lago de Chapala y discutir las implicaciones ecológicas y económicas de tan valioso recurso fitoplanctónico (Palmer 1962; Prescott 1973; Wetzel 1981; Margalef 1983; Reynolds 1986; Streble y Krauter 1987; Lind y Dávalos 1991; González 1992; Martínez *et al.* 1992; Hoek *et al.* 1995; Lee 1999).

A pesar de la relevancia nacional e internacional de este sistema lacustre, poca atención se ha dado a la diversidad vegetal del lago, aun cuando este gremio vegetal representa la base de la cadena alimenticia y por ende es fundamental para la planificación de un desarrollo sustentable (Cortés 1989; Núñez y Reyes 1995; Mora y Castro 1999; Mora *et al.* 1999a, 1999b, 1999c, 2000, 20004). El primer listado preliminar de fitoplancton para la zona incluyó 134 especies (Núñez y Reyes 1995), el cual por cuestiones logísticas reflejó muestreos sólo de los meses de febrero a mayo de los años 1989, 1990 y 1991, ya que las muestras obtenidas en verano, otoño e invierno durante dicho periodo no habían sido identificadas. Recientemente, Mora *et al.* (2004, ver capítulo 4) registraron adicionalmente otras 59 especies. Pero es hasta en este

estudio que se hace una síntesis de las especies reportadas a la fecha para el lago de Chapala (Cortés 1989; Núñez y reyes 1995, Mora et al. 2004) y se incluyen aquellas especies que durante los muestreos de otoño e invierno de 1989-1991 quedaron pendientes de ser identificadas.

Los patrones espacio-temporales de abundancia de las especies son muy informativos sobre la dinámica de recambio de especies en el lago, en respuesta al cambio climático estacional o al cambio climático global. También son informativos para reconocer fenómenos de sucesión natural que tienen lugar en ciertos lagos, o más frecuentemente para caracterizar una dinámica de recambio en respuesta a periodos de disturbio antrópico, como son las descargas periódicas de contaminantes agropecuarios e industriales. Por lo tanto, se persigue reconocer cuales especies de fitoplancton son más informativas desde el punto de vista ecológico, por su variación en los patrones espacio-temporales.

En el presente estudio se pretende: a) actualizar el inventario del fitoplancton del lago de Chapala, b) ilustrar fotográficamente la diversidad morfológica del fitoplancton del lago, c) describir el patrón de distribución de algunas de las especies más frecuentes, y d) evaluar el estado de eutrofización del lago con base en su composición de microalgas.

MATERIAL Y MÉTODO

Área de estudio

El lago de Chapala se ubica en la parte centro-oriente del estado de Jalisco, en el occidente de México; entre los 20°7' y 20°21' N, y entre los 102°40'45" y 103°25'30" W y a una altitud de 1,524 m s.n.m. Con una superficie de 5,127.43 km² es el lago más grande de México; el 90% de su superficie corresponde al estado de Jalisco y el 10% restante al estado de Michoacán (Fig. 1). El lago se originó a causa de una falla de la corteza terrestre, formando un graben o fosa tectónica, que capturó las aguas del sistema hidrológico Lerma-Santiago. Esta depresión tectónica forma parte de la Línea de San Andrés-Chapala. Las principales sierras que rodean al lago se formaron durante el Plioceno Medio y son antiguos aparatos volcánicos. Las islas de Alacranes y Mezcala, así como la península de Petatlán, son también de origen volcánico. El vulcanismo de la

región actualmente se encuentra reducido a manifestaciones de termalismo (Estrada *et al.* 1983). La región de la cuenca local del lago de Chapala, se encuentra dentro de la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico y de la subprovincia Chapala. El eje es un cinturón montañoso que cruza el centro del país de este a oeste; en él se encuentran la mayor parte de los lagos naturales y de los volcanes de México (Guzmán y Merino 1992). La subprovincia Chapala consta de cinco sistemas de topofomas: 1) el gran llano, con suelo de origen aluvial, litología de aluvión y pendientes menores al 3%; 2) el pequeño llano aislado, de origen aluvial, litología de aluvión y pendientes menores de 3%; 3) el lomerío suave con llano, de origen volcánico, con litología extrusiva básica y ácida, con pendientes entre 12 y 30%; 4) la sierra con laderas de escarpa de falla, de origen volcánico, con litología ígnea extrusiva básica, con una altitud de 2,310 m s.n.m. y pendientes de 6 a 40%; y 5) el escudo de volcanes aislados o en conjunto, de origen residual, asentado sobre una fase pedregosa de areniscas y tobas, muy fértil y arcilloso. Hacia la ribera noroeste del lago se presenta la sierra del Tecuán, los lomeríos de la Santa Cruz, de San Nicolás y de San Juan Tecamatlán, la sierra de Mezcala, y los lomeríos de Ocotlán y Jamay. Estas formaciones se interrumpen por la Ciénega. En la ribera sur se presentan las sierras de Tizapán, del Tigre y de Mazamitla. Finalmente, hacia el suroeste, la depresión de Sayula. La mayor altitud de la región se presenta en el Cerro Viejo, con 2,980 m s.n.m. (Guzmán y Merino 1992).

Trabajo de campo

Se estableció una red de 15 estaciones equidistantes en el lago de Chapala (Fig. 2). En cada estación se obtuvieron seis muestras en total: tres durante 1996 (septiembre, octubre y diciembre: 1-45), dos durante 1997 (febrero y junio: 46-75), y una muestra durante 1998 (marzo: 76-90); el total de muestras fueron 90. Con un punto de corte de dos desviaciones estándar ninguna de las muestras fue separada como discordante. Sin embargo, para este inventario también se consideraron las especies reportadas por Núñez y Reyes (1995) que corresponden a muestreos realizados durante los meses de febrero a mayo de 1989–1991 y las reportadas por Mora *et al.* (2004). El fitoplancton se recolectó mediante una red de 45 cm de diámetro, 1 m de longitud y con una malla de 50 μ m; se realizaron arrastres circulares durante dos minutos, a una velocidad de 1 nudo. Las

muestras se recolectaron por duplicado para cada estación y se colocaron en frascos de 100 ml. Una muestra se fijó en formol al 4 % y la otra adicionalmente contenía acetato de cobre, con la finalidad de observar coloración y conservación de las estructuras celulares con los dos métodos de fijación y establecer diferencias o ventajas de los mismos. Los especímenes recolectados en los frascos pasaron a formar parte de la Colección Ficológica IBUG, del Instituto de Botánica, Departamento de Botánica y Zoología, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara.

Trabajo de laboratorio

Los especímenes se prepararon colocando una gota de cada muestra en un portaobjeto por duplicado. Su observación permitió hacer estimaciones cualitativas sobre las especies más frecuentes. Mediante técnicas tradicionales de descripción morfológica se examinaron las agrupaciones celulares, forma y tamaño de las células, tipo de estructuras celulares, características de la pared celular y estructuras reproductoras. Las determinaciones se apoyaron en claves taxonómicas y fueron comparadas con ilustraciones (fotografías o dibujos) en literatura especializada (Smith 1950; Allen y Stanier 1968; Bourelly 1972, 1981, 1985; Prescott 1973; Ortega 1984; Komárek y Anagnostidis 1986, 1989; Krammer y Lange 1986, 1988, 1991a, 1991b; Anand 1988; Hegewald y Silva 1988; Siqueiros *et al.* 1991; Sala 1992; Gold *et al.* 1994; Tavera *et al.* 1994; Watanabe y Komárek 1994; Komárkova y Tavera 1996; Valadéz *et al.* 1996; Novelo 1998; Parra y Bicudo 1999).

La clasificación utilizada para el inventario de fitoplancton siguió a varios autores, como se señala a continuación: para Cyanophyceae se utilizó la clasificación de Komárek y Anagnostidis (1986); para Chlorophyceae a Bold y Wynne (1986) y Hegewald y Silva (1988); para Bacillariophyceae a Krammer y Lange (1986, 1988, 1991a, 1991b); para Chrysophyceae y Xantophyceae a Parra y Bicudo (1999); para Dinophyceae a Prescott (1973) y para Euglenophyceae a Bourrelly (1987).

Se elaboró un listado con los taxa determinados a nivel de género o de especie cuando fue posible. Cada especie fue respaldada con testigos, que están depositados en la Colección Ficológica del IBUG. Se obtuvieron fotografías de las especies más

comunes y representativas de la variabilidad morfológica del fitoplancton.

Se generaron mapas de distribución de las ocho especies más comunes, con base en la frecuencia observada durante los seis muestreos en cada una de las estaciones (puntos) preestablecidas en el lago. Para graficar el patrón en el mapa se asignó a cada estación de muestreo el valor correspondiente (frecuencia observada en los seis muestreos), se trazó una triangulación entre las estaciones de muestreo y se estableció una red de interpolación de primer, segundo y tercer grado, de acuerdo al detalle requerido. Para la interpolación de primer grado (entre dos puntos) se asignó el valor promedio de dos estaciones a un punto intermedio de la distancia entre ambas [$P_i = (E_1 + E_2)/2$]; para la interpolación de segundo grado (entre tres puntos) se asignó un valor promedio entre los tres puntos [$P_i = (E_1 + E_2 + E_3)/3$] y así sucesivamente. Para este trabajo se utilizó una interpolación entre tres y cuatro puntos y en los extremos del mapa, por falta de estaciones, se realizó entre dos y tres puntos. Una vez establecida la retícula de valores para las estaciones originales y las interpoladas, se conectaron los puntos de igual valor, formando así las isolíneas respectivas. A cada isolínea se le asignó un valor o un hechurado con su clave correspondiente.

La determinación de especies indicadoras de contaminación se basó en la evaluación de la valencia saprobia de los organismos (Ortega *et al.* 1995), que relaciona el concepto de valencia saprobia con la contaminación por materia orgánica y con los organismos que viven en estas zonas.

El grado de eutrofización del lago se estimó de acuerdo al cociente de asociación:

$$C = \frac{C_y + C_h + C_e + E_u}{D_e}$$

De

Donde C = coeficiente de asociación, C_y = número de especies observadas de Cyanophyta, C_h = Chlorophyta (Chlorococcales), C_e = Diatomeas centrales, E_u = Euglenophyta, D_e = Chlorophyta (Desmitdiaceae) (Ortega *et al.* 1995). Los índices de saprobiedad de las especies se obtuvieron con base en registros de saprobiedad (Ortega *et al.* 1995).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Riqueza y composición taxonómica

El inventario de fitoplancton del lago de Chapala aumentó con el presente estudio de 193 a 226 especies y 10 variedades. El total de las 226 especies de fitoplancton corresponden a 92 géneros y 44 familias (Cuadros 1, 2). La división Chlorophyta fue la más rica (73), seguida de Chromophyta (69), Cyanophyta (55), Euglenophyta (26) y Dinophyta (3) (Cuadro 3, Fig. 3).

Las familias de mayor riqueza fueron Chroococcaceae (12%), Euglenaceae (12%), Naviculaceae (10%), Diatomaceae (7%), Nostocaceae (7%) y Closteriaceae (4%)(Fig. 4). Los géneros más ricos fueron: *Euglena* (7%), *Anabaena* (4%), *Closterium* (4%), *Nitzschia* (4%), *Cymbella* (3%), *Fragilaria* (3%), *Microcystis* (3%), *Navicula* (3%), *Oocystis* (3%), *Scenedesmus* (3%), *Chroococcus* (2%), *Gomphonema* (2%), *Phacus* (2%) y *Spirogyra* (2%)(Fig. 5).

Del total del inventario del fitoplancton (226 especies), un 59% es reportado por primera vez para el lago de Chapala por Núñez y Reyes (1995) y un 26% por Mora *et al.* (2004, ver capítulo 4), mientras que al presente estudio le correspondió el registro adicional de un 15% de tal inventario (33 especies marcadas con asterisco en el cuadro 1). De dicho listado, 81 especies (36% del inventario global), correspondientes a los muestreos efectuados en los años 1989-1991, no se han vuelto a encontrar. Los datos sugieren que Chapala es mucho más rico que la laguna de Zapotlán (Velasco 2004) y que la Presa Elías González en Jalisco (Campos 1995). También es más rico que el lago Catemaco, Ver. (Tavera 1996), que la laguna Larga, Mich. (García 1989) y que la laguna Victoria, Edo. de México (Mendoza 1973) (Cuadro 2). Sin embargo, los resultados son a partir de periodos de muestreos cortos y por lo tanto distan mucho de ser representativos. Hasta donde se conoce, Chapala es el lago de mayor riqueza fitoplanctónica en México y de mayor promedio de riqueza de especies por género (2.42)(Cuadro 2).

En las láminas de I-IX se presentan fotografías de especies y grupos de algas más comunes de fitoplancton encontradas en el lago de Chapala, como una herramienta de comparación que facilite la identificación de familias y géneros representativos.

Patrones de distribución de especies frecuentes

Microcystis flos-aquae, *Anabaena* aff. *flos-aquae* y *Planctonema lauterbornii* presentaron una frecuencia intermedia y una variabilidad de frecuencia mínima a lo largo del lago (Figs. 6, 7, 8). *Ceratium hirundinella* y *Closterium pronum* mostraron la frecuencia más alta, así como la uniformidad de frecuencia más alta a lo largo del lago (Figs. 9, 10). *Staurastrum longiradiatum* y *Aulacoseria italica* mostraron amplia variabilidad de frecuencia en el lago, la primera con las frecuencias más altas hacia la parte occidental del lago y la segunda hacia la parte central del lago (Figs. 11, 12). *Pediastrum duplex* var. *duplex* presentó dos zonas de frecuencia distinta en el lago; de baja frecuencia hacia los extremos, y de frecuencia intermedia hacia la zona centro-occidente (Fig. 13).

Los datos sugieren que distintas especies de fitoplancton afrontan la variabilidad ambiental y biótica del lago con diferentes estrategias. Lo anterior apoya una hipótesis de especialización de hábitat, que permite la coexistencia de especies generalistas y especialistas. Algunas especies como *Ceratium hirundinella* y *Closterium pronum*, así como *Microcystis flos-aquae*, *Anabaena* aff. *flos-aquae* y *Planctonema lauterbornii* (en menor grado), mostraron una amplia tolerancia ambiental o biótica, por lo tanto, se considera que no serían muy informativas para el monitoreo de las condiciones físico-químicas y biológicas del lago. Por el contrario, especies como *Staurastrum longiradiatum* y *Aulacoseria italica*, así como *Pediastrum duplex* var. *duplex* (en menor grado), mostraron importantes gradientes de frecuencia, relacionados en parte a la heterogeneidad del lago. Por lo tanto, podrían servir como especies más informativas para un seguimiento de la dinámica del lago.

Los periodos de septiembre y octubre de 1996, mostraron una frecuencia promedio de especies (60-70%), mientras que los periodos de diciembre de 1996, febrero de 1997 y junio de 1997 mostraron promedios altos de frecuencia de especies (80-92%). El periodo de marzo de 1998, mostró un promedio de frecuencias de especies inusualmente bajo (40%). Esto puede deberse a que en diciembre de 1997 y principios de 1998, fue eliminada la maleza del lago, este hecho y la remoción de los depósitos del suelo, pudo haber incrementado la turbiedad, reduciendo la capacidad fotosintética y reproductiva de muchos géneros de algas (Cuadros 4-6).

Las estaciones de muestreo mostraron un diferencial en el promedio de frecuencias que fue disminuyendo gradualmente de oeste a este, desde 83% hasta 56% . Lo anterior sugiere que la mayor actividad humana en el este, principalmente por la desembocadura del río y por el mayor disturbio derivado de la mayor densidad poblacional en la parte noreste del lago, pueden estar limitando la presencia de muchos géneros de fitoplancton (Cuadros 4-6).

El periodo de septiembre de 1996 se caracterizó por la ausencia de *Aphanizomenon* y la baja presencia de *Microcystis* y la mayoría de los géneros mostraron frecuencia alta. El periodo de octubre de 1996 fue similar al anterior, excepto que el 2% de los géneros mostraron frecuencias intermedias. El mes de diciembre de 1996 favoreció a la mayoría de los géneros, que mostraron frecuencias muy altas. El mes de febrero de 1997 continuó favoreciendo a muchos géneros, aunque las frecuencias no fueron tan altas como las de los periodos anterior y subsiguiente. El periodo de junio de 1997 resultó ser aún más favorable que diciembre de 1996, pues se alcanzaron las frecuencias de especies más altas. El mes de marzo de 1998 fue el más desfavorable de todos los periodos, pues el 74% de los géneros mostró una frecuencia baja (Cuadros 4-6).

Estos fenómenos de recambio composicional en el espacio y en el tiempo, reflejan una intensa dinámica ambiental, que impacta de manera temporal a las poblaciones de fitoplancton. Los géneros como *Aphanizomenon* y *Microcystis*, y en menor grado *Anabaena*, *Euglena* y *Ceratium* (Cuadros 4-6), que mostraron amplias fluctuaciones de frecuencia a lo largo de estos seis periodos, podrían servir como indicadoras de la dinámica físico-química y ambiental en el lago, por lo tanto se recomienda el estudio de su dinámica poblacional.

Eutrofización

El patrón de eutrofización varió a lo largo de los años de muestreo y parece no estar relacionado a los cambios de las estaciones del año. De acuerdo a la valencia saprobica de las especies, el 31% de las especies se reportan con algún índice de saporiedad. De ellas, 13 son oligo-saprobias, 16 beta-mesosaprobias, cinco alfa-mesosaprobias y dos poli-saprobias. De las especies encontradas, *Microcystis*

aeuruginosa, *M. flos-aquae* y *Anabaena* aff. *flos-aquae*, corresponden al grupo de las beta-mesosaprobias y por presentar valores altos dentro de éste grupo pueden servir como indicadoras de niveles intermedios de contaminación. Especialmente por que las especies de éste gremio son sensibles a las sustancias de putrefacción a las disminuciones del contenido de oxígeno y a las oscilaciones de los vares de pH. Solamente *Trachelomona* sp. mostró una relación negativa con el grupo anterior y por lo tanto puede servir como indicadora de aguas menos contaminadas. La presencia de los géneros *Anabaena*, *Occillatoria* y *Spirulina* son indicadoras de ambientes con mucha mayor contaminación (Ortega *et al.* 1995).

Con base en el índice de asociación obtenido (8.85), el lago se consideró sapotrófico. Esto significa que el lago es altamente eutrofizado, en mayor grado que la laguna Victoria, pero en menor grado que el lago de Pátzcuaro (Ortega *et al.* 1995).

LITERATURA CITADA

- Allen, M. M. y R. Y. Stanier. 1968. Selective isolation of blue-green algae from water and soil. *J. Gen. Microbiol.* 51: 203–209.
- Anand, N. 1988. Culture studies and taxonomy of blue-green algae—certain identification problems. *Algological Studies* 53: 141–147.
- Bold, H. C. y M. J. Wynne. 1985. Introduction to the algae. Structure and reproduction. Second ed. Prentice Hall, Inc., New Jersey. 720 pp.
- Bourelly, P. 1972. Les algues d'eau douce. Initiation a la systematique. Tome I: Les algues vertes. Editions N. Boubéé & Cie, Paris. 572 pp.
- Bourelly, P. 1981. Les algues d'eau douce. Initiation a la systematique. Tome II: Les algues jaunes et brunes. Editions N. Boubéé & Cie, Paris. 517 pp.
- Bourelly, P. 1985. Les algues d'eau douce. Initiation a la systematique. Tome III: Les algues blues et rouges. Les euglèniens, peridiniens et cryptomonadines. Editions N. Boubéé & Cie, Paris. 606 pp.
- Bourelly, P. 1987. Algues d'eau douce des mares d'alpage de la région de Lunz am See, Autriche. *Bibliotheca Phycologica*, J. Cramer, Berlin. 182 pp.
- Campos Trujillo, S. 1995. Determinación del fitoplancton de la presa Ing. Elías González Chávez. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco. 151 pp.
- Cortés Altamirano, R. 1989. Fitoplancton del lago de Chapala, Jalisco. *Tiempos de Ciencia*, Universidad de Guadalajara 15: 51-53.
- Estrada Faudón, E., E. Flores Tritschler y J. R. Michel. 1983. Lago de Chapala, investigación actualizada. Instituto de Geografía y Estadística-Instituto de Astronomía y Meteorología, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco. 67 pp.
- García Barrera, R. M. 1989. Contribución al estudio del fitoplancton de la presa laguna Larga, Los Azufres, Michoacán, México. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán. 97 pp.
- Gold Morgan, M., G. Montejano y J. Komárek. 1994. Freshwater epiphytic cyanoprokariotes from Central Mexico. *Arch. Protistenkd.* 144: 338-405 .
- González González, J. 1992. Flora ficológica de México: Concepciones y estrategias

- para la integración de una flora ficológica nacional. Rev. Ciencias 6: 13–33.
- Guzmán Arroyo M. y E. Merino Nambo. 1992. El lago de Chapala. Información básica. Instituto de Limnología, Universidad de Guadalajara, Chapala, Jalisco. 13 pp.
- Hegewald, E. y P. C. Silva 1988. Annotated catalogue of *Scenedesmus* and nomenclaturally related genera, including original description and figures. Bibliotheca Phycologica. J. Cramer, Berlín. 587 pp.
- Hoek, C. v. d., D. Mann y H. M. Jahns. 1995. Algae. An introduction to phycology. Koeltz Scientific Books, Koenigstein. 576 pp.
- Komárek, J. y K. Anagnostidis. 1986. Modern approach to the classification system of Cyanophytes-2–Croococcales. Arch. Hydrobiol. Supplementband 73. Algological Studies 43: 157-226.
- Komárek, J. and Anagnostidis, K. 1989. Modern approach to the classification system of Cyanophytes-4-Nostocales. Archiv. Hydrobiol. Supplementband 82. Algological Studies 56: 247-345.
- Komárkova-Legnerová, J. y R. Tavera Sierra. 1996. Cyanoprokaryota (Cyanobacteria) in the phytoplankton of Lake Catemaco, Veracruz, Mexico. Archiv. Hydrobiol. Algological Studies 83: 403-422.
- Krammer, K. y H. Lange Bertalot. 1986. Bacillariophyceae, 1. Naviculaceae. En: Pascher, B. von A., H. von Ettl, J. Gerloff, H. Heyning, y D. Mollenhauer (eds.). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/1. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 876 pp.
- Krammer, K. y H. Lange Bertalot. 1988. Bacillariophyceae, 2. Epithemiaceae, Surirellaceae. En: Pascher, B. von A., H. von Ettl, J. Gerloff, H. Heyning. y D. Mollenhauer (eds.). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/2. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 576 pp.
- Krammer, K. y H. Lange Bertalot. 1991a. Bacillariophyceae, 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunoticeae. En: Pascher, B. von A., H. von Ettl, J. Gerloff, H. Heyning, y D. Mollenhauer (eds.). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/3. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 578 pp.
- Krammer, K. y H. Lange Bertalot. 1991b. Bacillariophyceae. 4. Achnanthaceae. En: Pascher, B. von A., H. von Ettl, J. Gerloff, H. Heyning, y D. Mollenhauer (eds.).

- Süßwasserflora von Mitteleuropa. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 438 pp.
- Lee, R. E. 1999. Phycology (3 ed.). Cambridge University Press, Cambridge. 614 pp.
- Lind, O. T. y L. Dávalos Lind. 1991. Association of turbidity and organic carbon with bacterial abundance and cell size in a large, turbid, tropical lake. *Limnology and Oceanography* 36: 1200-1208.
- Margalef, R. 1983. Organización, teoría y modelos de los ecosistemas. *Limnología*. Ed. Omega, Barcelona. 1010 pp.
- Martínez, L. S., J. Verde Star, L. Villarreal Rivera, M. González Álvarez y T. Castro Lucio. 1992. Método para el control de algas en abastecimientos de agua. *Pub. Biol. Fac. Cienc. Biol. Univ. Autónoma de Nuevo León* 6(1): 87-95.
- Mendoza González, A. C. 1973. Estudio florístico ficológico estacional de la Laguna de Victoria o de Santiago Tilapa, Edo. de México. Tesis de Licenciatura en Biología. Instituto Politécnico Nacional, México, D. F. 161 pp.
- Mora Navarro, M. R. y T. Castro Cruz. 1999. Fitoplancton del lago de Chapala. *De Vinci* 1(1): 39-42.
- Mora Navarro, M. R., T. Castro Cruz y M. Guzmán Arroyo. 1999a. Fitoplancton del lago de Chapala. P. 50. En: Resúmenes 3º Congreso Mexicano de Ficología. La Paz, BCS.
- Mora Navarro, M. R., T. Castro Cruz y M. Guzmán A Arroyo. 1999b. Flora fitoplanctónica del lago de Chapala, Jalisco, Michoacán. P. 59. En: Memorias V Jornadas de Biología. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco.
- Mora Navarro, M. R., T. Castro Cruz y M. Guzmán Arroyo. 1999c. Microalgas de importancia encontradas en el fitoplancton del lago de Chapala, Jalisco, Michoacán. P. 37. En: Memorias V Jornadas de Biología. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco.
- Novelo Maldonado, E., 1998. Flora ficológica del Valle de Tehuacán, Puebla. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F. 599 p.
- Núñez Márquez, G. y G. E. Reyes González. 1995. Contribución al conocimiento del fitoplancton del lago de Chapala, Jalisco, México, durante el periodo de febrero a

- mayo de 1989, 1990 y 1991. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco. 69 pp.
- Ortega, M. M. 1984. Catálogo de algas continentales recientes de México. Instituto de Biología-UNAM, México, D. F. 566 pp.
- Ortega, M. M., J. L. Godínez, G. Garduño S. y M. G. Oliva M. 1995. Ficología de México. Algas continentales. Ed. AGT, México, D. F. 221 pp.
- Ortega Murillo, M. R. 1985. Contribuciones al conocimiento del fitoplancton del lago de Cuitzeo, Michoacán, México. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia. 109 pp.
- Palmer, M. 1962 . Algas de abastecimiento de agua. Ed. Interamericana, S. A., México, D. F. 91 pp.
- Parra O., O. y C. E. M. Bicudo. 1999. Introducción a la biología sistemática de las algas de aguas continentales. Ediciones Universidad de Concepción, Santiago de Chile. 268 pp.
- Prescott, G. W. 1973. Algae of the western Great Lakes area. WM. C. Brown Company, Dubuque. 977 pp.
- Reynolds, C. S. 1986. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge. 384 pp.
- Sala, S. E. 1992. Sobre algunas Bacillariophyceae de agua dulce nuevas o raras para Argentina. *Darwiniana* 31(1-4): 335-339.
- Siqueiros Beltrones, D. A., S. E. Ibarra Obando y M. Poumián Tapia. 1991. Composición y estructura de las asociaciones de diatomeas bentónicas del estero de Punta Banda, B. C. en otoño de 1983 y 1986. *Ciencias Marinas* 17(1): 119-138.
- Smith, G. M. 1950. Fresh-water algae of the United States. McGraw-Hill Book Company, Nueva York. 637 pp.
- Streble, H. y D. Krauter. 1987. Atlas de los microorganismos de agua dulce. La vida en una gota de agua. Ed. Omega, Barcelona. 357 pp.
- Tavera Sierra, R. 1996. Phytoplankton of the tropical Lake Catemaco. Ph. D. Thesis. University of South Bohemia. Faculty of Biological Sciences. České Budejovice. 108 pp.
- Tavera Sierra, R., J. Elster y P. Marvan. 1994. Diatoms from Papaloapan basin

- comunities, Mexico. *Algological Studies* 74: 35–65.
- Valadéz Cruz, F., J. Carmona Jiménez y E. A. Cantoral Uriza, 1996. Algas de ambientes lóticos en el estado de Morelos, México. *Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 67(2): 227-282.
- Velasco Navarro, M. E. 2004. Fitoplancton de la laguna de Zapotlán, Jalisco. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco. 46 pp.
- Watanabe, M. y J. Komárek. 1994. Several cyanoprocaryotes from Sagarmatha National Park, Nepal Himalayas. *Bull. Natn. Sci. Mus. Tokyo. Ser. B.* 20(1): 1–31.
- Wetzel, R. G. 1981. *Limnología*. Ed. Omega, Barcelona. 679 pp.

Cuadro 1.

Listado actualizado del fitoplancton del lago de Chapala, Jalisco-Michoacán, México. En asterisco las especies que se registran por primera vez.

CYANOPHYTA	SCYTONEMATACEAE
CYANOPHYCEAE, CHROOCOCCALES,	54. <i>Scytonema hofmannii</i> C. Agardh ex Bornet et Flahault, 1887
CHROOCOCCACEAE	CHLOROPHYTA
1. <i>Anacystis montana</i> Drouet et Doly, 1956	CAROPHYCEAE, CHARALES
2. <i>Aphanocapsa elachista</i> W. West et G. S. West, 1846	CHARACEAE
3. <i>Aphanocapsa grevillei</i> (Berk.) Rabenhorst, 1865	55. <i>Chara</i> sp.
4. <i>Aphanocapsa nidulans</i> Ritcher, 1884	CHLOROPHYCEAE, CLADOPHORALES
5. <i>Aphanocapsa rivularis</i> (Carmichael) Rabenhorst, 1865	CLADOPHORACEAE
6. <i>Aphanothece elahrata</i> West, 1906	56. <i>Cladophora</i> sp.
7. <i>Aphanothece nidulans</i> Richter, 1884	57. <i>Rhizoclonium</i> sp.
8. <i>Aphanothece stagnina</i> (K. Sprangel) A. Brawn, 1865	CHLOROPHYCEAE, CHLOROCOCCALES
9. <i>Chroococcus limnetica</i> Lemmermann, 1898	BOTRYOCOCCACEAE
10. <i>Chroococcus minor</i> (Kützing) Nägeli, 1849	58. <i>Botryococcus</i> sp.
11. <i>Chroococcus miniatus</i> (Kützing) Nägeli, 1849	59. <i>Botryosphaerella sudetica</i> (Lemmermann) P. C. Silva 1896
12. <i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli, 1849	60. <i>Botryosphaerella</i> sp.
13. <i>Chroococcus varius</i> A. Braun, 1876	CLORELLACEAE
14. <i>Coelosphaerium Kützingianum</i> Nägeli, 1849	61. <i>Ankistrodesmus bibraianus</i> (Reinsch) Korshikov, 1953
15. <i>Dactilococcopsis acicularis</i> Lemmermann, 1900	62. <i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs, 1848
16. <i>Gloeocapsa aeruginosa</i> (Carmichael) Kützing, 1843	63. <i>Ankistrodesmus gracilis</i> (Reinsch) Horchiscov, 1953
17. <i>Gloeocapsa alpicola</i> Jensen, 1972	64. <i>Ankistrodesmus spiralis</i> (W. Turner) Lemmermann, 1908
18. <i>Gloeocapsa</i> sp.	65. <i>Chlorella miniata</i> (Kützing) Olmanns, 1904
19. <i>Gleotrichia echinulata</i> Richter, 1894	66. <i>Chlorella saccharophila</i> Fott et Nováková, 1969
20. <i>Merismopedia glauca</i> (Ehrenb.) Nägeli, 1849	67. <i>Chlorella vulgaris</i> (Beyerinck) Nováková, 1890
21. <i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann, 1898	CHLOROCOCCACEAE
22. <i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing, 1846	68. <i>Chlorococcum infusorium</i> (Schrank) Meneghini, 1842
23. <i>Microcystis flos-aquae</i> (Wittrock) Kirchner, 1849	69. <i>Chlorococcum</i> sp.
24. <i>Microcystis holsatica</i> Lemmermann, 1903	COELASTRACEAE
25. <i>Microcystis incerta</i> (Lemmermann) Lemmermann, 1903	70. <i>Coelastrum microporum</i> Nägeli, 1855
26. <i>Microcystis novackii</i> (Lemmermann) Ralfs, 1850	71. <i>Coelastrum sphaericum</i> Nägeli ex Kützing, 1849
27. <i>Microcystis</i> sp.	GOLENKINIACEAE
NOSTOCACEAE	72. <i>Golenkinia radiata</i> Chodat, 1894
28. <i>Anabaena aequalis</i> Borge 1907	HYDRODICTYACEAE
29. <i>Anabaena</i> aff. <i>affinis</i> Lemmermann, 1808	73. <i>Pediastrum boriyanum</i> (Turpin) Meneghini, 1842
30. <i>Anabaena</i> aff. <i>circinalis</i>	74. <i>Pediastrum duplex</i> var. <i>clathratum</i> (A. Braun) Lagerheim, 1882
31. <i>Anabaena</i> aff. <i>flos-aquae</i> Bréb. & Godey, 1886	75. <i>Pediastrum duplex</i> var. <i>duplex</i> Meyen, 1829
32. <i>Anabaena limnetica</i> G.M. Smith, 1916	76. <i>Pediastrum duplex</i> var. <i>gracillimum</i> West, 1895
33. <i>Anabaena planctónica</i> Brunnthaler, 1903	77. <i>Pediastrum duplex</i> var. <i>reticulatum</i> Lagerheim, 1882
34. <i>Anabaena solitaria</i> (Bronthaler) Komárek, 1903	78. <i>Pediastrum simplex</i> var. <i>duodenarium</i> (Bailey) Rabenhorst, 1868
35. <i>Anabaena</i> aff. <i>spiroides</i> Klebahn, 1895	79. <i>Pediastrum simplex</i> var. <i>radians</i> Lemmermann, 1899
36. <i>Anabaena</i> sp.	80. <i>Pediastrum simplex</i> var. <i>simplex</i> Meyen, 1829.
37. <i>Anabaenopsis elenkini</i> Miller, 1923	81. <i>Pediastrum simplex</i> var. <i>biwaense</i> Fukush, 1967
38. <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (Lemmermann) Ralfs, 1850.	OOCYSTACEAE
39. <i>Aphanizomenon</i> sp.	82. <i>Oocystis apiculata</i> West, 1965
40. <i>Cylindrospermum</i> sp.	83. <i>Oocystis elliptica</i> West, 1892
41. <i>Nostoc caeruleum</i> Lyngbye, 1819	84. <i>Oocystis lacustris</i> Chodat, 1897
42. <i>Nostoc commune</i> Vaucher, 1903	85. <i>Oocystis planctonica</i> Hansgirg, 1890
43. <i>Nostoc punctiforme</i> (Kützing.) Hariot, 1891	86. <i>Oocystis solitaria</i> Wittrock, 1879
44. <i>Nostoc</i> sp.	87. <i>Oocystis</i> sp.
OSCILLATORIACEAE	88. <i>Quadrigula lacustris</i> (Chodat) G.M. Smith 1907
45. <i>Lyngbya latissima</i> Prescott, 1944	89. <i>Trochiscia aciculifera</i> (Lagerheim) Hansing, 1888
46. <i>Lyngbya</i> sp.	
47. <i>Oscillatoria formosa</i> Gomont, 1892	
48. <i>Oscillatoria</i> sp.	
49. <i>Phormidium fragile</i> (Meneghini) Gomont, 1892	
50. <i>Phormidium</i> sp.	
51. <i>Spirulina</i> sp.	
RIVULARIACEAE	
52. <i>Calothrix</i> sp.	
53. <i>Rivularia</i> sp.	

PALMELLACEAE

90. *Sphaerocystis schroeteri* Chodat, 1868

SCENEDESMACE

91. **Crucigenia quadrata* Morren, 1830
 92. *Scenedesmus acuminatus* var. *acuminatus* (Lagerheim) Chodat, 1903
 93. *Scenedesmus acuminatus* var. *asimetricus* Chodat, 1903
 94. *Scenedesmus arcuatus* Lemmermann, 1829
 95. *Scenedesmus bijuga* var. *bijuga* (Turpin) Lagerheim, 1893
 96. *Scenedesmus bijuga* var. *flexuosus* (Lemm.) Collins, 1909
 97. **Scenedesmus dimorphus* (Turp.) Kützing, 1833
 98. **Scenedesmus obliquos* (Turp.) Kützing, 1833b
 99. *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Bréb., 1835
 100. *Scenedesmus* sp.

TETRASPORACEAE

101. *Tetraspora* sp.

CHLOROPHYCEAE, OEDOGONIALES

OEDOGONIAEAE

102. *Oedogonium* sp.

CHLOROPHYCEAE, ULOTRICALES

MICROSPORACEAE

103. *Microspora stagnorum* (Kützing) Lagerheim, 1887

CHLOROPHYCEAE, ZYGNEMATALES

CLOSTERIAEAE

104. *Closterium aciculare* T. West, 1860
 105. *Closterium cetaceum* Ehrenb. ex Ralfs, 1848
 106. *Closterium gracile* Bréb. ex Ralfs, 1848
 107. *Closterium lineatum* Ehrenb. ex Ralfs, 1848
 108. **Closterium lunula* Ehrenb. ex Ralfs, 1848
 109. **Closterium diana* Ehrenb., 1848
 110. *Closterium parvulum* Nägeli, 1849
 111. *Closterium pronum* Bréb., 1856
 112. *Closterium* sp. 1
 113. **Closterium* sp. 2

DESMIDIACEAE:

114. *Pleurotaenium trabecula* (Ehrenb.) Nägeli, 1849
 115. *Staurastrum longiradiatum* T. West, 1896
 116. *Staurastrum paradoxum* Meyen ex Ralfs, 1848
 117. **Staurastrum* sp.

GLEOCYSTACEAE:

118. *Asterococcus limneticus* G. M. Smith, 1918
 119. *Gleocystis ampla* (Kützing) Rabenhorst, 1863

ULOTRICAEEAE:

120. *Planctonema lauterborni* Schmidle, 1903
 121. *Ulothrix aequalis* Kützing, 1845

ZIGNEMACEAE

122. *Mugeotopsis* sp.
 123. *Spirogyra comunis* (Hassal) Kützing, 1849
 124. *Spirogyra geitleri* Kützing 1849
 125. **Spirogyra inflata* (Vaucher) Kützing, 1843
 126. **Spirogyra prattensis* Transeau, 1914
 127. *Spirogyra* sp.
 128. *Zignema* sp.

CHLOROPHYCEAE, VOLVOCALES

CHLAMIDOMONADACEAE

129. *Carteria cordiformis* (Carter) Diesing, 1866
 130. *Chlamidomona globosa* Snow, 1903
 131. *Chlamidomona incerta* Pascher, 1927

SPHAERELLACEAE

132. *Haematococcus pluvialis* Flotow, 1844

VOLVOCAEEAE

133. *Eudorina elegans* Ehrenb., 1832
 134. *Pandorina* sp.
 135. *Volvox* sp.

CHROMOPHYTA

BACILLARIOPHYCEAE, CENTRALES

COSCINODISCAEAE

136. *Stephanodiscus niagre* (Ehrenb.) Fricke, 1901
 137. **Stephanodiscus* sp.

THALASSIOSIRACEAE

138. *Cyclotella meneghiniana* Kützing, 1844
 139. **Cyclotella* sp.

MELOSIRACEAE

140. *Aulacoseria granulata* var. *angustissima* Müller, 1904
 141. *Aulacoseria granulata* var. *granulata* (Ehrenb.) Simonsen, 1979
 142. *Aulacoseria italica* (Ehrenb.) Simonsen, 1979

BACILLARIOPHYCEAE, PENNALES

DIATOMACEAE

143. *Diatoma elongata* (Lyngbye) Agardh, 1885
 144. *Diatoma mesodon* (Ehrenb.) Kützing, 1849
 145. *Diatoma* sp.
 146. *Fragilaria brevistriata* Grunow, 1885
 147. *Fragilaria capuchina* Desmazzières, 1825
 148. *Fragilaria construens* Lingbye, 1819
 149. *Fragilaria crotonensis* (Grunow) Kitton, 1892
 150. *Fragilaria* sp.
 151. *Fragilaria virescens* Ralfs, 1843
 152. *Synedra acus* Kützing, 1844
 153. *Synedra parasitica* (W. Smith) Hust, 1930
 154. *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenb., 1862
 155. *Synedra* sp.
 156. **Tabellaria* sp.1
 157. **Tabellaria* sp.2

EPHITEMIACEAE

158. *Amphora ovalis* (Ehrenb.) Ehrenb., 1895
 159. *Ephithemia* sp.

ACHNATAEAE

160. **Achnanthes brevipes* (C. Agardh) Ehrenb., 1854
 161. *Achnanthes* sp.
 162. *Cocconeis placentula* Ehrenb., 1838
 163. *Cocconeis* sp.
 164. *Rhoicosphenia curvata* (Kützing) Grunow, 1861

NAVICULACEAE

165. *Caloneis* sp.
 166. *Cymbella aspera* (Ehrenb.) Cleve, 1894
 167. *Cymbella cistula* (Ehrenb.) Kirchner, 1878
 168. *Cymbella lanceolata* Agardh, 1830
 169. *Cymbella mexicana* (Ehrenb.) Cleve, 1894
 170. *Cymbella prostrata* (Berk.) Cleve, 1894
 171. *Cymbella tumida* Osorio Taffal, 1947
 172. *Diploneis puella* Cleve, 1894
 173. *Gomphonema angustatum* var. *productum* Grunow, 1880
 174. *Gomphonema parvulum* Kützing, 1849
 175. *Gomphonema ventricosa* Gregory, 1856
 176. *Gomphonema* sp.(1)
 177. **Gomphonema* sp.(2)
 178. *Navicula aphixis* Ehrenb., 1843
 179. *Navicula cuspidata* (Kützing) Kützing, 1844
 180. *Navicula fulva* (Nitzsch) Ehrenb., 1830

181. *Navicula gracilis* Ehrenb., 1831
 182. *Navicula platalea* Ehrenb., 1842
 183. *Navicula radfosa* Kützing, 1844
 184. *Navicula* sp.
 185. *Pinnularia decurrens* Ehrenb., 1844
 186. *Pinnularia* sp.

NITZSCHIACEAE

187. *Nitzschia acicularis* (Kützing) W. Smith, 1853
 188. *Nitzschia amphibia* Grunow, 1862
 189. *Nitzschia dissipata* var. *dissipata* (Kützing) Grunow, 1862
 190. *Nitzschia dissipata* var. *media* (Kützing) Grunow, 1862
 191. *Nitzschia entomon* (Ehrenb.) Ralfs, 1861
 192. *Nitzschia linearis* (C. Agardh) W. Smith, 1853
 193. *Nitzschia longissima* var. *longissima* (Bréb.) Grunow, 1862
 194. *Nitzschia longissima* var. *reversa* (Bréb.) Grunow, 1862
 195. **Nitzschia* sp. (1)
 196. **Nitzschia* sp. (2)
 197. **Nitzschia* sp. (3)

SURIPELLACEAE

198. *Campylodiscus* sp.
 199. *Surirella capronii* Bréb., 1883
 200. *Surirella nervosa* (A. Schmidt) Mayer, 1913
 201. *Surirella spiralis* Kützing, 1844
 202. *Surirella* sp.

CRYSOPHYCEAE, CHROMULINALES

CHRYSAMOEBACEAE

203. *Chrysamoeba* sp.

CRYSOPHYCEAE, MONOSIGALES

SYNURACEAE

204. *Mallomonas caudata* Iwanoff, 1899
 205. *Mallomonas producta* (Zacharias) Iwanoff, 1899

XANTOPHYCEAE, MISCHOCOCCALES

BOTRIODIOPSISACEAE

206. *Botriodopsis arhiza* Sted, 1889

CHARACIOPSISACEAE

207. *Characiopsis Nägellii* (A. Braum) Lemmermann, 1849

XANTOPHYCEAE, OCHROMONADALES

DYNOBRYACEAE

208. *Dinobryon* sp.

DINOPHYTA

DINOPHYCEAE, PERIDINALES

CERATIACEAE

209. *Ceratium fusus* (Ehrenb., Dujardin) Dodge, 1982
 210. *Ceratium hirundinella* (Müller) Dujardin, 1841

PERIDINACEAE

211. *Peridinium* sp.

EUGLENOPHYTA

EUGLENOPHYCEAE, EUGLENALES

EUGLENACEAE

212. *Astasia dangeardii* Lemmermann, 1910
 213. *Euglena acus* var. *acus* (O. F. Müller) Ehrenb., 1830
 214. *Euglena acus* var. *longissima* Deflandre, 1924
 215. *Euglena ehrenbergii* Klebs, 1883
 216. *Euglena exilis* Goidics, 1953
 217. *Euglena fusca* (Klebs) Lemmermann, 1970.
 218. *Euglena gracilis* Klebs, 1883
 219. *Euglena granulata* (Klebs) Schmitz, 1884
 220. *Euglena guntherii* Goidics, 1953
 221. *Euglena limnophyla* var. *sulcata* (Lemmermann) Ortega, 1960
 222. **Euglena oxyuris* Schmarda, 1846
 223. *Euglena proxima* Dangeard, 1960
 224. *Euglena pseudoespiroides* Swirensko, 11915
 225. *Euglena rostrifera* Jonson, 1944
 226. *Euglena spirogyra* Ehrenb., 1830
 227. **Euglena terricola* (Dangeard) Lemmermann, 1910
 228. *Euglena* sp.
 229. **Lepocinclis* sp.
 230. *Phacus acuminatus* (Prescott) Stokes, 1883
 231. *Phacus longicaudus* (Dujardin) Ehrenb., 1841
 232. *Phacus pleuronectes* (O. F. Müller) Dujardin, 1925
 233. *Phacus triquetus* (Ehrenb.) Dujardin, 1841
 234. **Phacus* sp.
 235. *Strombomonas costata* Deflander, 1930
 236. *Trachelomonas beltranii* Osorio Tafall, 1943
 237. *Trachelomona hispida* Ehrenb., 1833
 238. **Trachelomona* sp.

Cuadro 2.

Riqueza fitoplanctónica de algunos lagos mexicanos.

	Lago de Chapala, Jal. (este trabajo)	Laguna de Zapotlán, Jal. (Velasco 2004)	Presa Elías González, Jal. (Campos 1995)	Laguna Larga, Mich. (García 1989)	Laguna Victoria, Edo. Mex. (Mendoza 1973)	Lago Catemaco, Ver. (Tavera 1996)	Lago Cuitzeo, Mich. (Ortega 1985)
No. de especies	223	111	122	108	168	47	--
No. de géneros	92	52	59	54	74	30	69
No. de familias	44	23	25	29	31	--	34
Especies/géneros	2.42	2.14	2.36	2.00	2.27	1.56	

Cuadro 3.

Composición fitoplanctónica de algunos lagos mexicanos (%).

División	Lago de Chapala, Jal. (este trabajo)	Laguna de Zapotlán, Jal. (Velasco 2004)	Presa Elías González, Jal. (Campos 1995)	Laguna Larga, Mich. (García 1989)	Laguna Victoria, Edo. Mex. (Mendoza 1973)	Lago Catemaco, Ver. (Tavera 1996)	Lago Cuitzeo, Mich. (Ortega 1985)
Chlorophyta	32	25	67.21	39.81	69.04	46.8	40.58
Chromophyta	31	43	8.2	39.81	7.74	17.02	34.78
Euglenophyta	24	8	5.73	3.7	3.58	0	2.9
Cyanophyta	11	23	13.93	13.9	17.26	36.18	18.84
Dinophyta	1	1	4.93	2.78	2.38	0	2.9

Cuadro 4.
 Géneros más frecuentes de microalgas en el lago de Chapala, durante 1996 (datos de presencia-ausencia).

Género	Número de estación														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Septiembre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Anabaena</i>	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0
<i>Aulacoseria</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
<i>Aphanizomenon</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ceratium</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Closterium</i>	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0
<i>Euglena</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Microcystis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0
<i>Pediastrum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
<i>Planctonema</i>	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
<i>Staurastrum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
Octubre	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Anabaena</i>	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Aulacoseria</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Aphanizomenon</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ceratium</i>	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0
<i>Closterium</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
<i>Euglena</i>	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1
<i>Microcystis</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Pediastrum</i>	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1
<i>Planctonema</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Staurastrum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
Diciembre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Anabaena</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Aulacoseria</i>	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Aphanizomenon</i>	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0
<i>Ceratium</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Closterium</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Euglena</i>	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1
<i>Microcystis</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0
<i>Pediastrum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Planctonema</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Staurastrum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1

Cuadro 5.

Géneros más frecuentes de microalgas en en el lago de Chapala, durante 1997.

	Número de estación														
Febrero	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Anabaena</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Aulacoseria</i>	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
<i>Aphanizomenon</i>	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1
<i>Ceratium</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Closterium</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Euglena</i>	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
<i>Mycrocystis</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
<i>Pediastrum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1
<i>Planctonema</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Staurastrum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
Junio															
<i>Anabaena</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Aulacoseria</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
<i>Aphanizomenon</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Ceratium</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0
<i>Closterium</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Euglena</i>	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1
<i>Mycrocystis</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
<i>Pediastrum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Planctonema</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Staurastrum</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1

Cuadro 6.

Géneros más frecuentes de microalgas en en el lago de Chapala, durante 1998.

	Número de estación														
Marzo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Anabaena</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Aulacoseria</i>	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Aphanizomenon</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Ceratium</i>	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0
<i>Closterium</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0
<i>Euglena</i>	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mycrocystis</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
<i>Pediastrum</i>	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Planctonema</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Staurastrum</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 1.

Localización del lago de Chapala, Jalisco-Michoacán, México

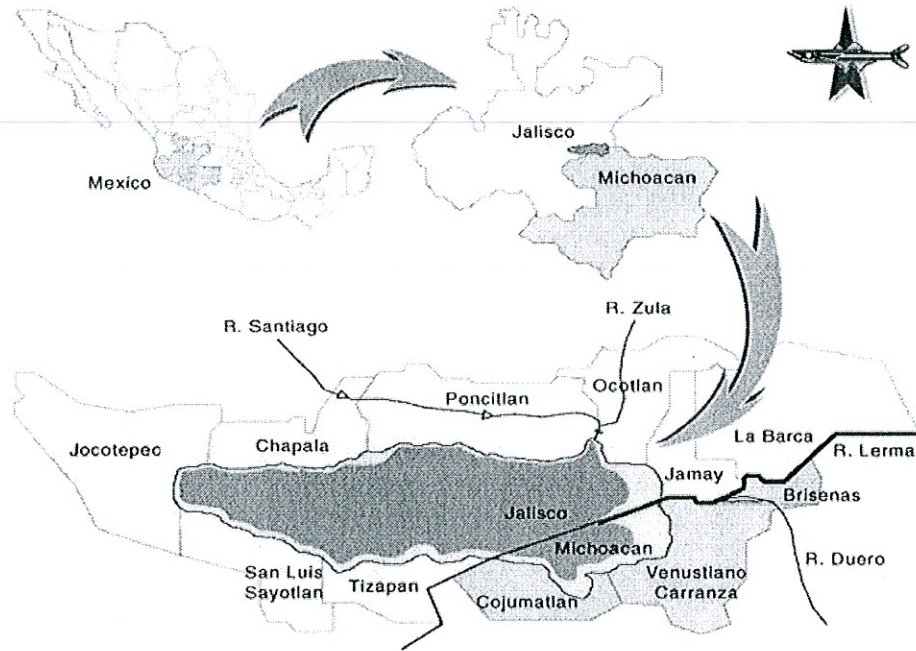
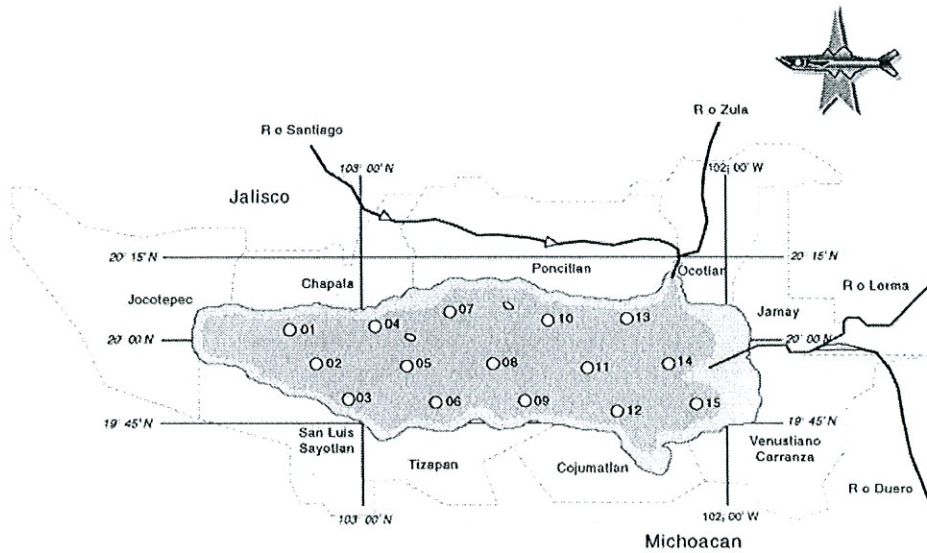


Figura 2.

Ubicación de las 15 estaciones de muestreo en el lago de Chapala, Jalisco-Michoacán, México



Red de estaciones de muestreo

Figura 3.
Composición fitoplanctónica del lago de Chapala, Jalisco-Michoacán, México
de acuerdo a las divisiones presentes.

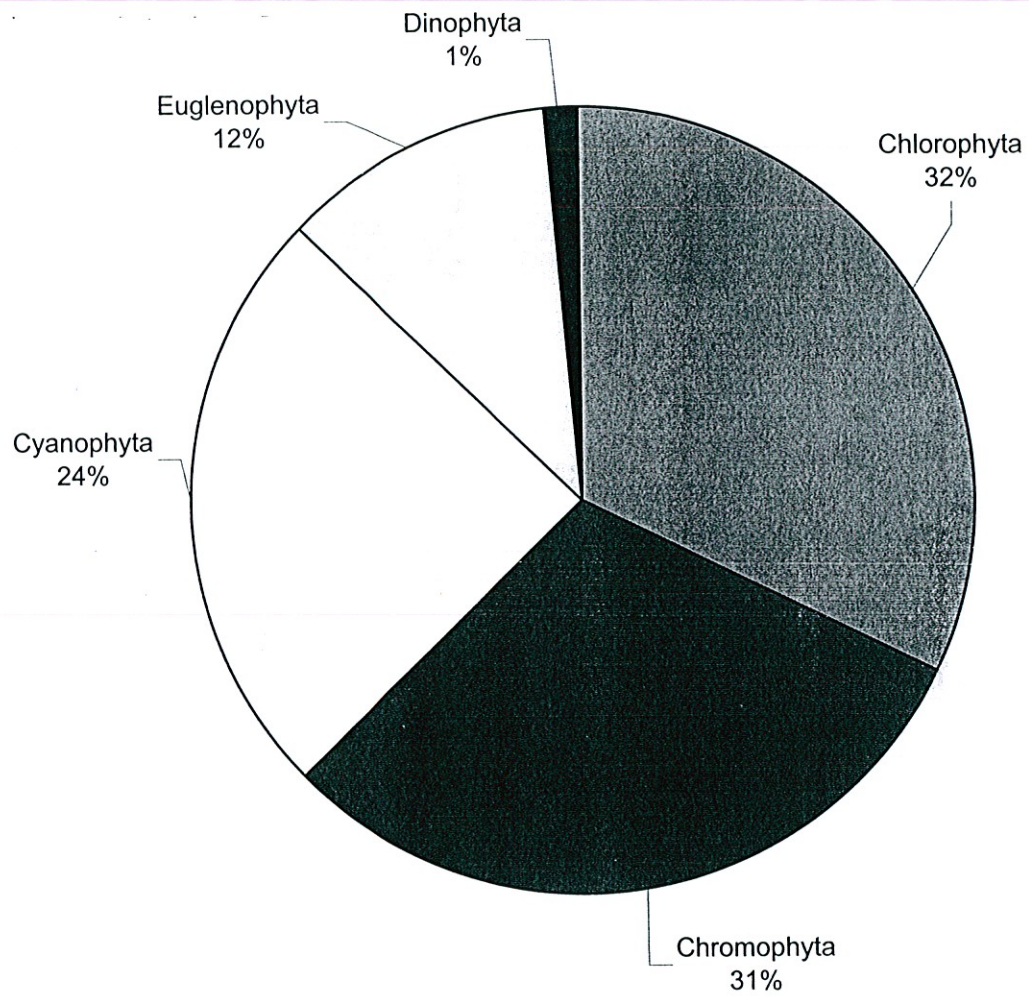


Figura 4.
Familias con mayor riqueza de fitoplancton en el lago de Chapala,
Jalisco-Michoacán, México.

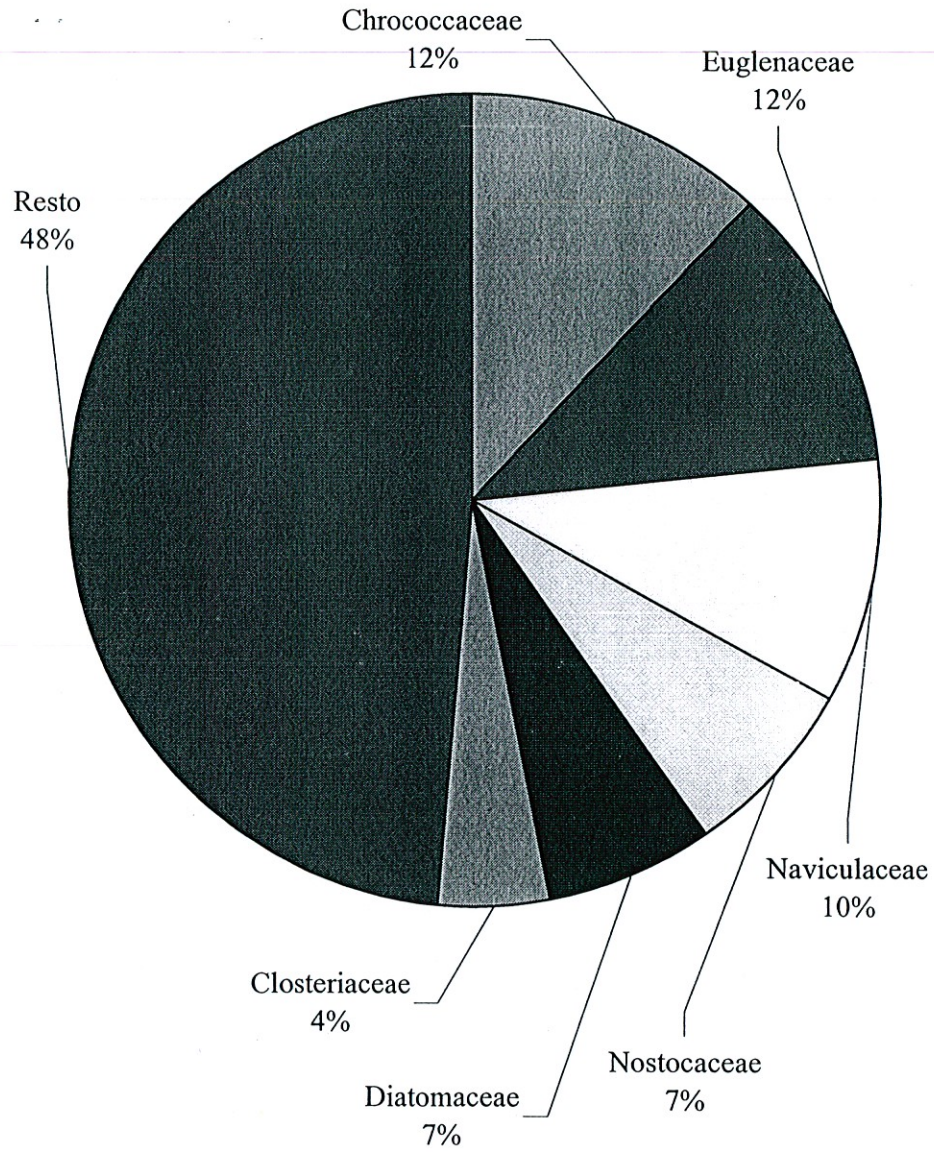
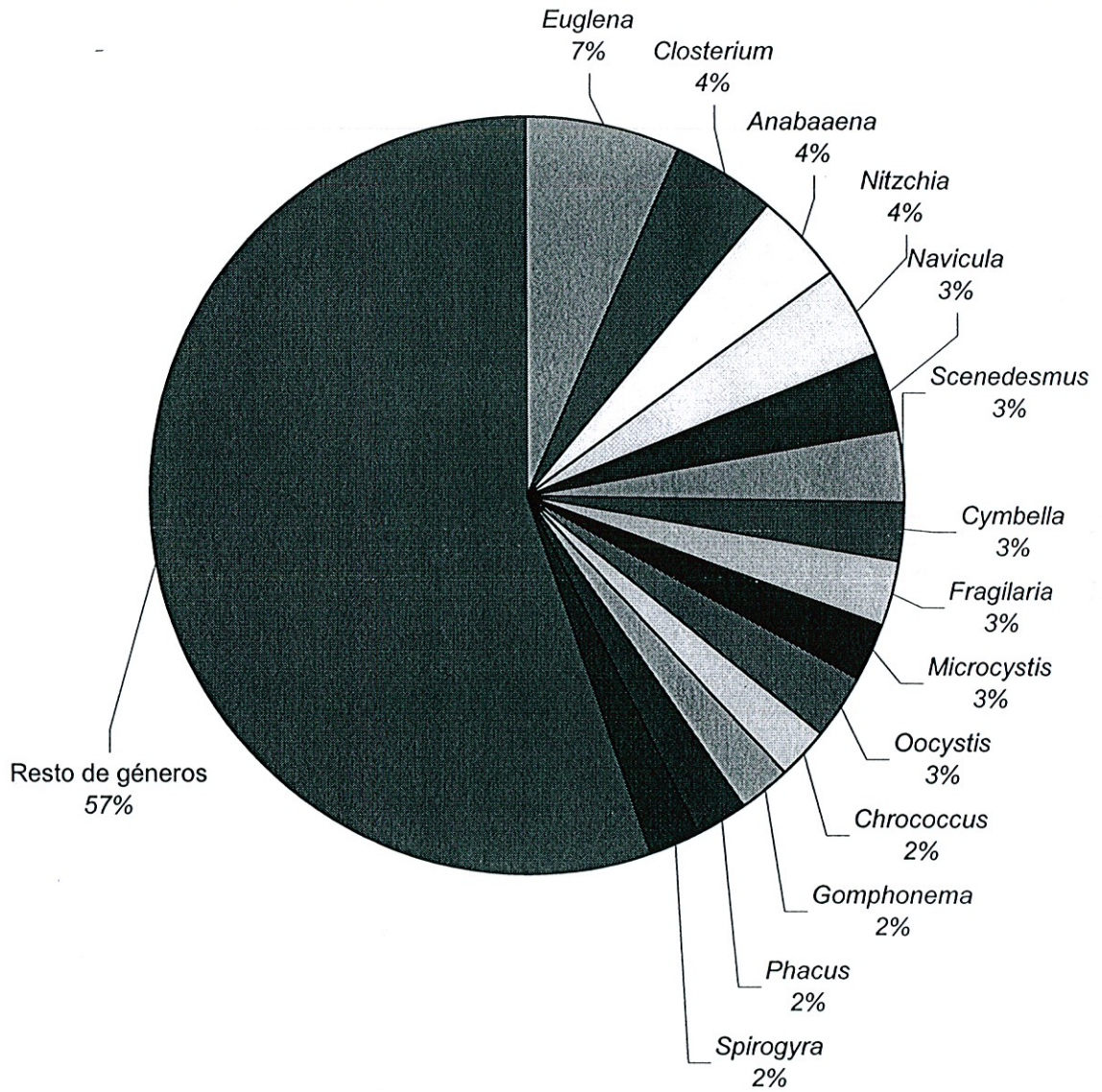


Figura 5.
Géneros de mayor riqueza de fitoplancton en el lago de Chapala,
Jalisco-Michoacán, México.



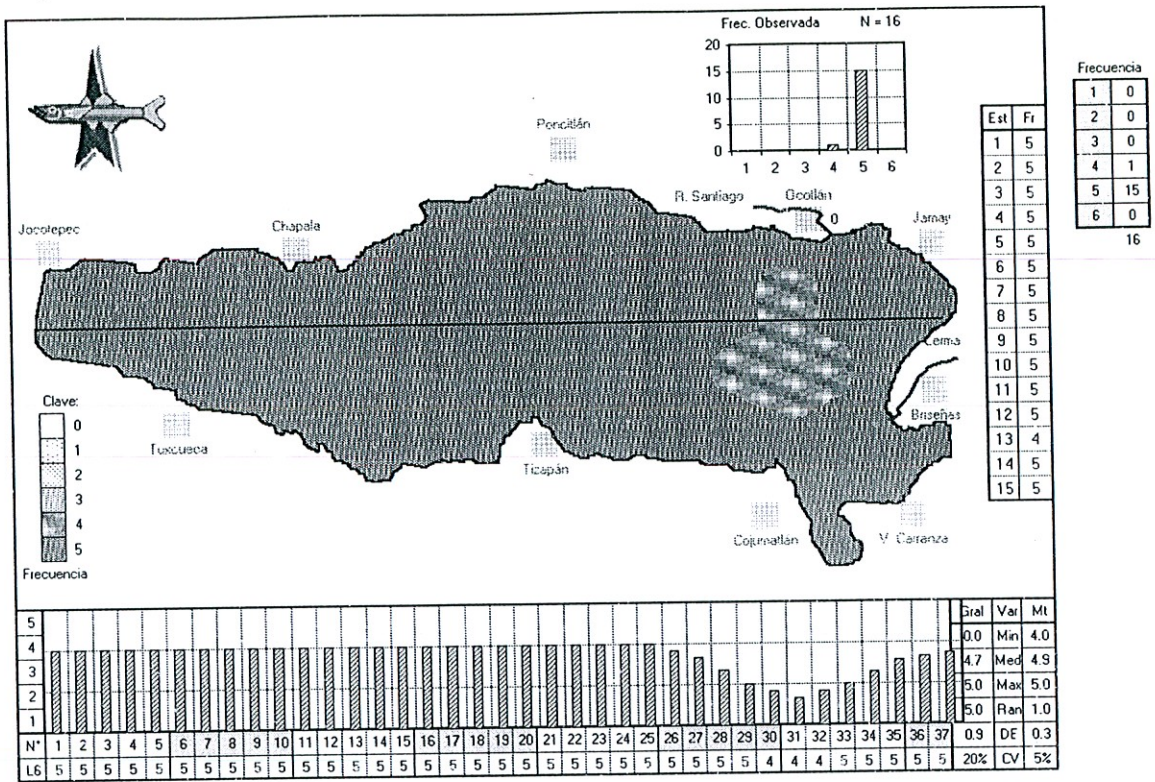


Figura 8. Patrón de abundancia de *Planctonema lauterbornii* en el lago de Chapala, Jalisco-Michoacán, México.

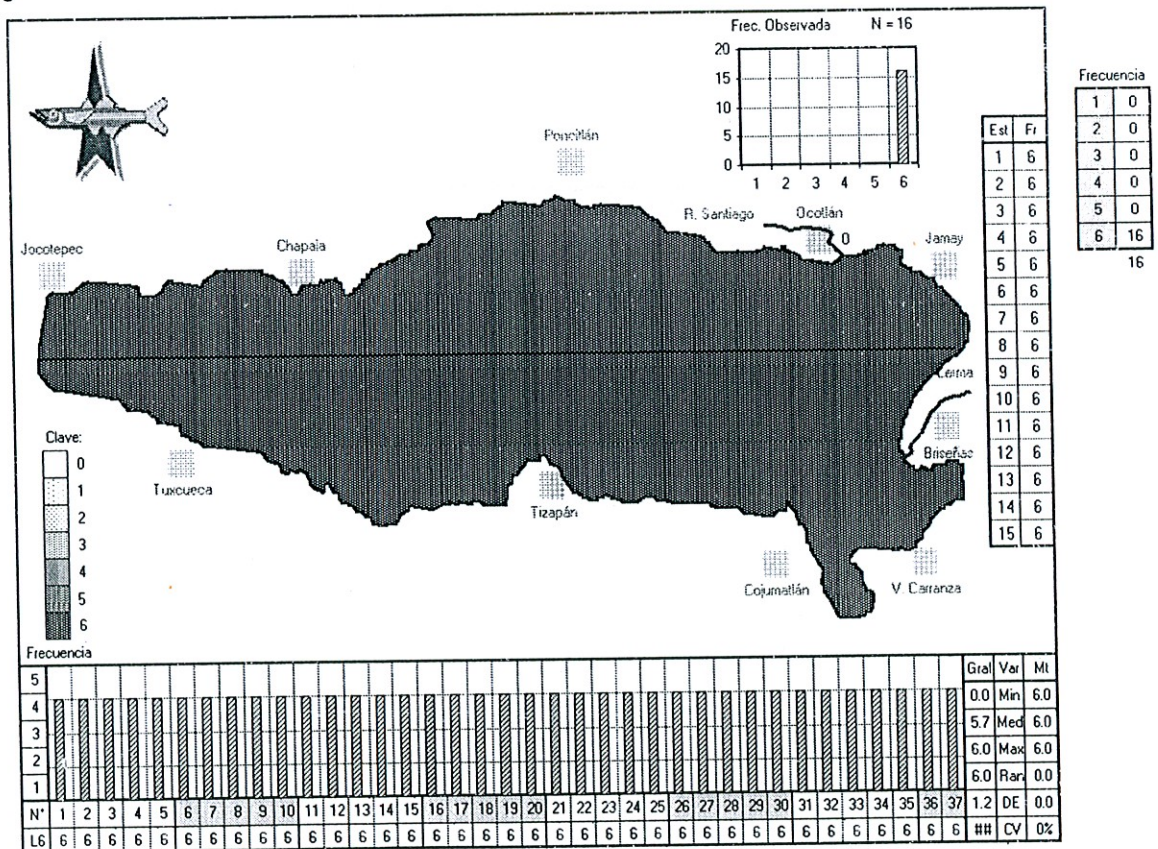


Figura 9. Patrón de abundancia de *Ceratium hirundinella* en el lago de Chapala, Jalisco-Michoacán, México.

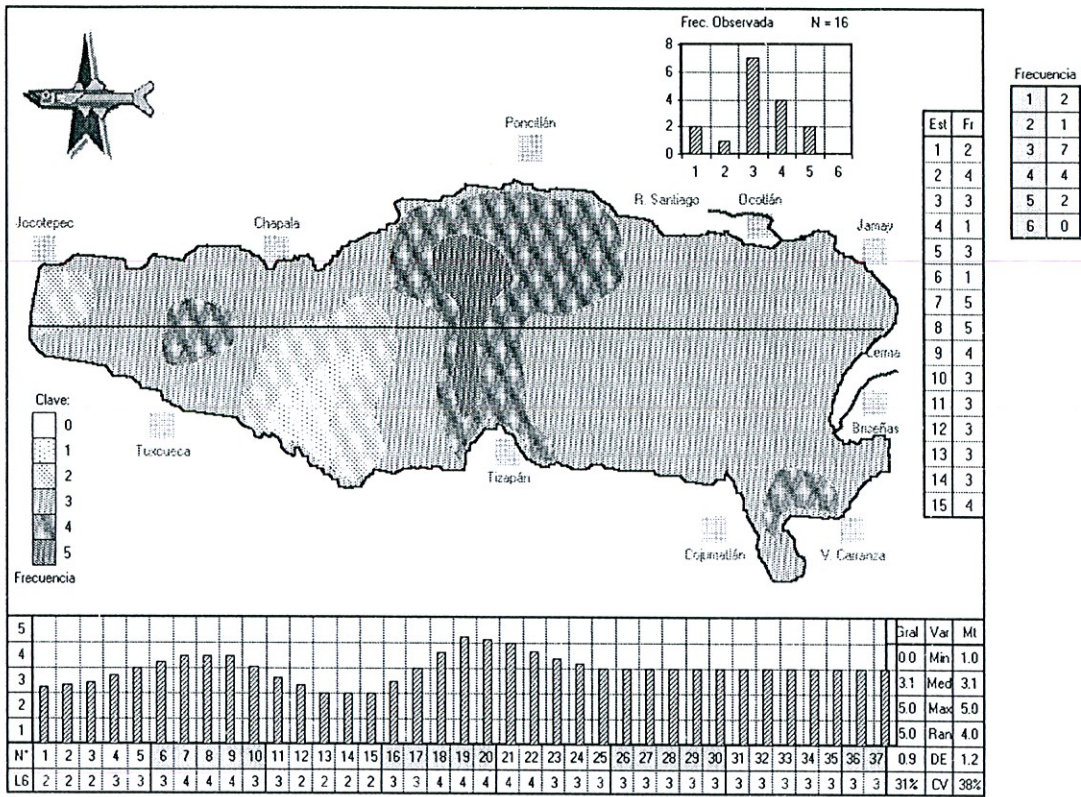


Figura 12. Patrón de abundancia de *Aulacoseria italica* en el lago de Chapala, Jalisco-Michoacán, México.

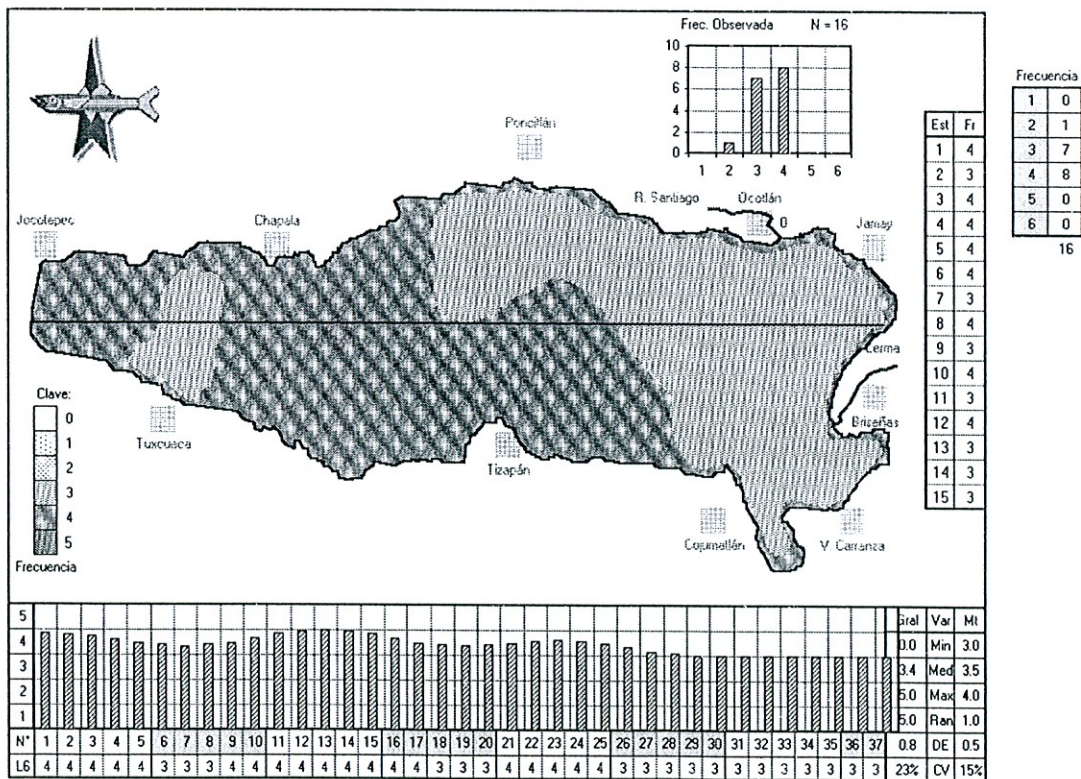


Figura 13. Patrón de abundancia de *Pediastrum duplex* var. *duplex* en el lago de Chapala, Jalisco-Michoacán, México.

Fotografías

Lámina I: Cyanophyceae

NOSTOCACEAE

- A. *Anabaena* aff. *spiroides*, 40 x
- B. *Anabaena* aff. *flos-aquae*, 100 x
- C. *Anabaenopsis elenkinii*, 100 x
- D. *Aphanizomenon flos-aquae*, 100 x
- E. *Aphanizomenon flos-aquae*, 100 x
- F. *Anabaena* aff. *planctonica*, 100 x
- G. *Anabaena* aff. *circinalis*, 40 x

Lámina II: Cyanophyceae

CHROCOCCACEAE

- H. *Microcystis flos-aquae*, 40 x
- I. *Chroococcus limnetica*, 100 x
- J. *Microcystis aeruginosa*, 100 x
- K. *Microcystis aeruginosa*, 40 x

Lámina III: Chlorophyceae

OOCYSTACEAE, COELASTRACEAE Y GLEOCYSTACEAE

- L. *Oocystis lacustris*, 100 x
- M. *Gleocystis planctonica*, 100 x
- N. *Coelastrum sphaericum*, 100 x
- O. *Oocystis solitaria*, 100 x
- P. *Asterococcus* sp., 100 x

Lámina IV: Chlorophyceae

SCENEDESMACEAE

- Q. *Scenedesmus acuminatus* var. *asimetricus*, 100 x
- R. *Scenedesmus* sp., 100 x
- S. *Scenedesmus bijuga*, 40 x
- T. *Scenedesmus obliquos*, 100 x
- U. *Scenedesmus acuminatus*, 100 x

Lámina V: Chlorophyceae

HYDRODICTYACEAE

- V. *Pediastrum duplex* var. *clathratum*, 100 x
- W. *Pediastrum simplex* var. *duodenarium*, 100 x
- X. *Pediastrum simplex* var. *biwaense*, 100 x
- Y. *Pediastrum simplex* var. *biwaense*, 100 x
- Z. *Pediastrum duplex* var. *gracile*, 100 x
- AA. *Pediastrum simplex* var. *simplex*, 100 x

Lámina VI: Chlorophyceae

CLOSTERIACEAE

- BB. *Closterium aciculare*, 40 x
- CC. *Closterium diana*, 100 x
- DD. *Closterium aciculare*, 100 x
- EE. *Staurastrum longiradiatum*, 100 x
- FF. *Closterium* sp. 1., 100 x
- GG. *Closterium lunula*, 100 x
- HH. *Closterium gracile*, 100 x

Lámina VII: Bacillariophyceae

NAVICULACEAE, MELOSIRACEAE Y DIATOMACEAE

- II. *Navicula* spp., 40 x
- JJ. *Aulacoseria granulata*, 40 x
- KK. *Fragilaria* sp., 40 x
- LL. *Cymbella aspera*, 100 x
- MM. *Cymbella aspera*, 100 x
- NN. *Aulacoseria granulata*, 100 x
- OO. *Navicula cuspidata*, 100 x

Lámina VIII: Euglenophyceae

EUGLENACEAE

- PP. *Astasia dangeardii*, 40 x
- QQ. *Euglena spirogyra*, 40 x
- RR. *Euglena acus* var. *acus*, 40 x
- SS. *Strombomonas costata*, 100 x
- TT. *Euglena* sp., 40 x
- UU. *Euglena rostrifera*, 40 x

Lámina IX: Dinophyceae

CERATIACEAE

- VV. *Ceratium hirundinella*, 100 x
- WW. *Ceratium hirundinella*, 40 x
- XX. *Ceratium hirundinella*, 100 x

Lámina I: Cyanophyceae, Nostocaceae

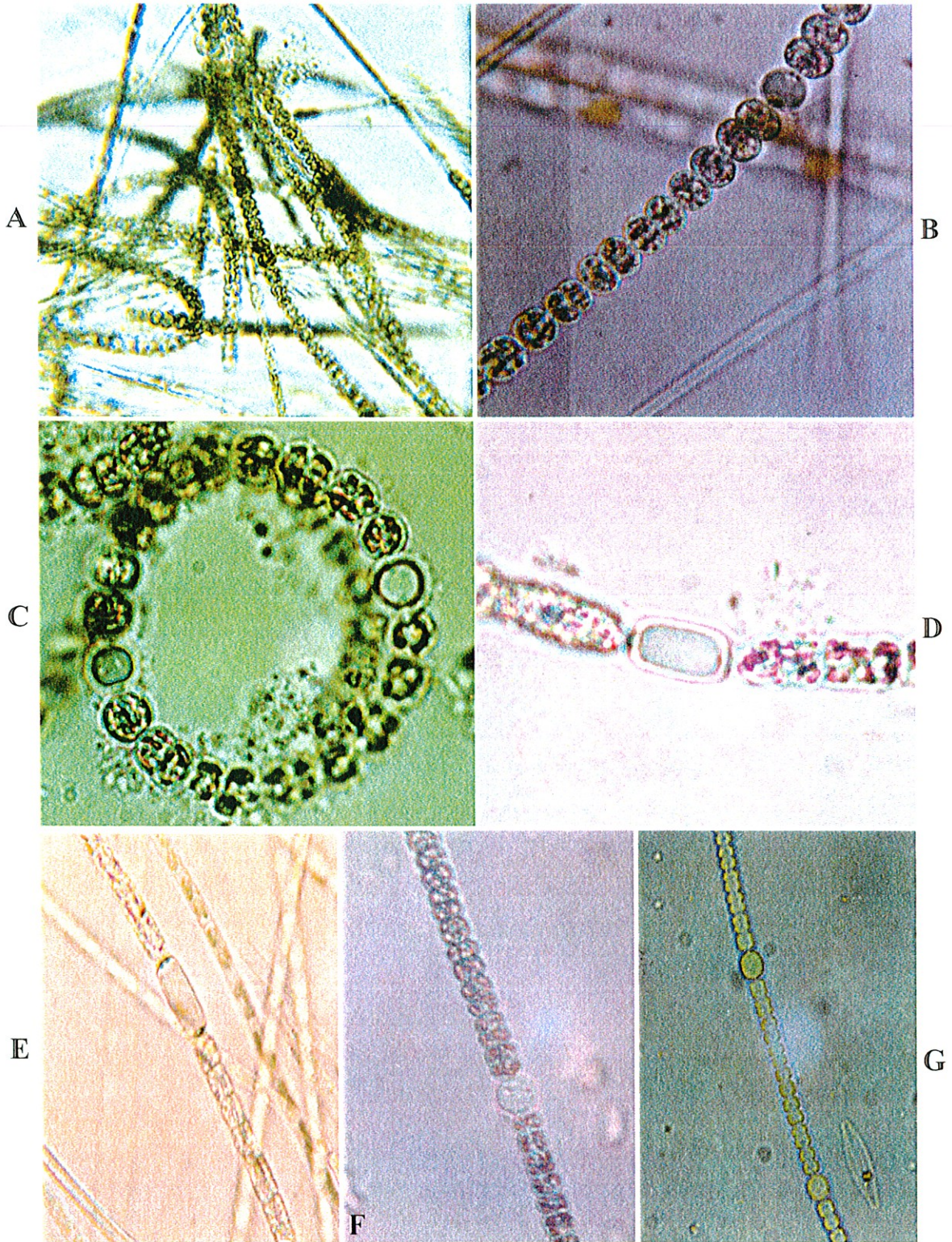


Lámina II: Cyanophyceae, Chroococcaceae

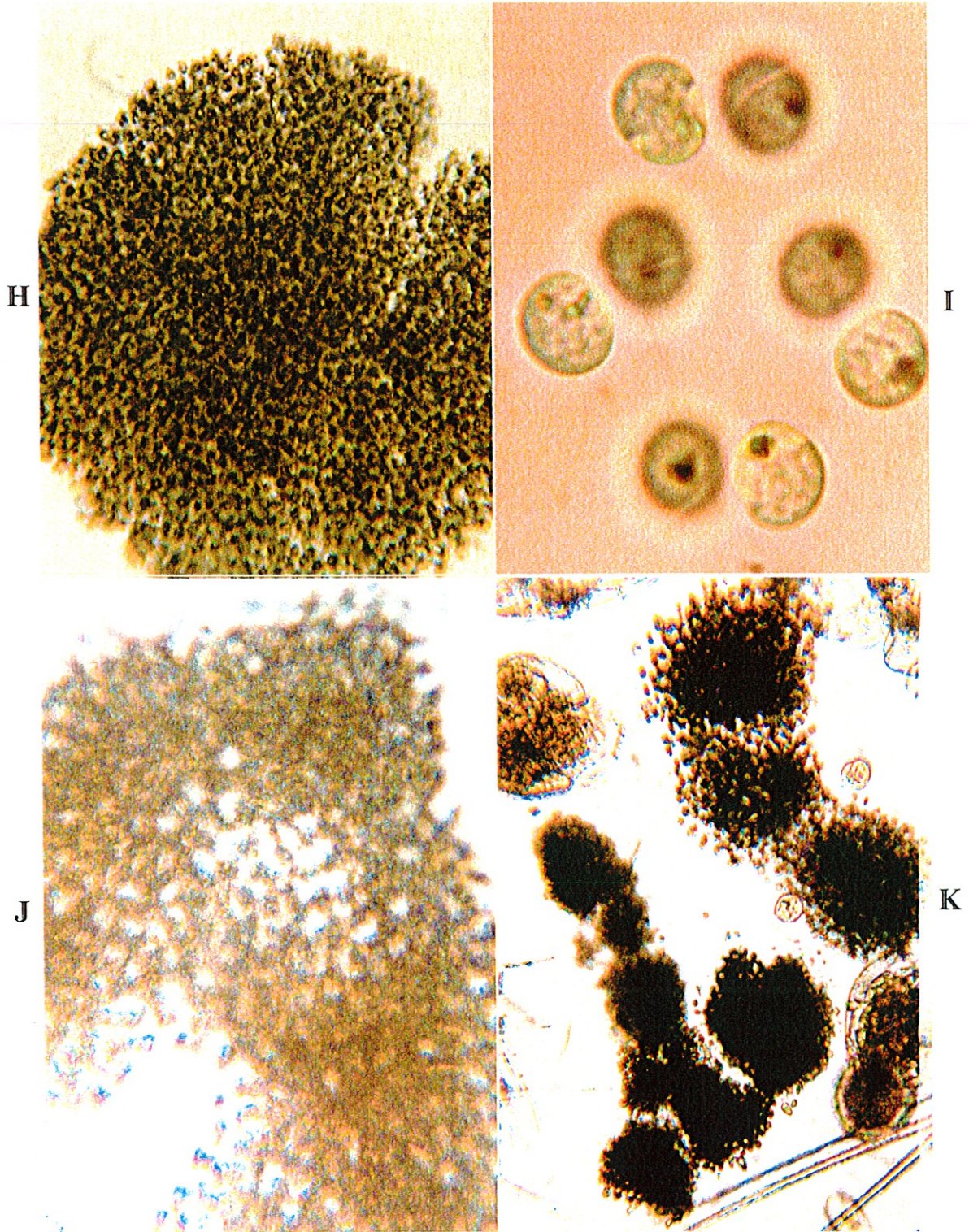


Lámina III: Chlorophyceae, Oocystaceae y Chlorelaceae

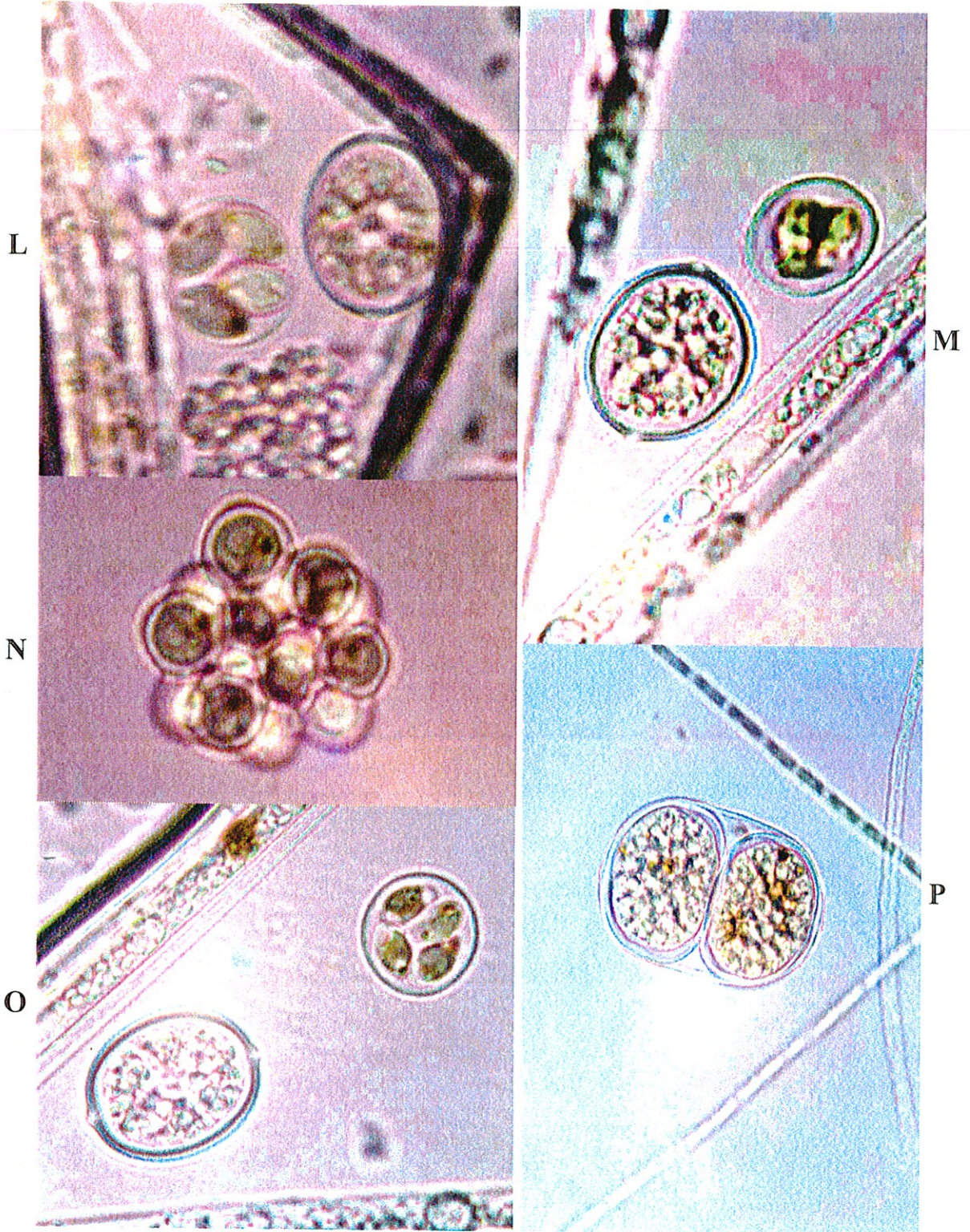


Lámina IV: Chlorophyceae, Oocystaceae, Coelastraceae y Gleocystaceae

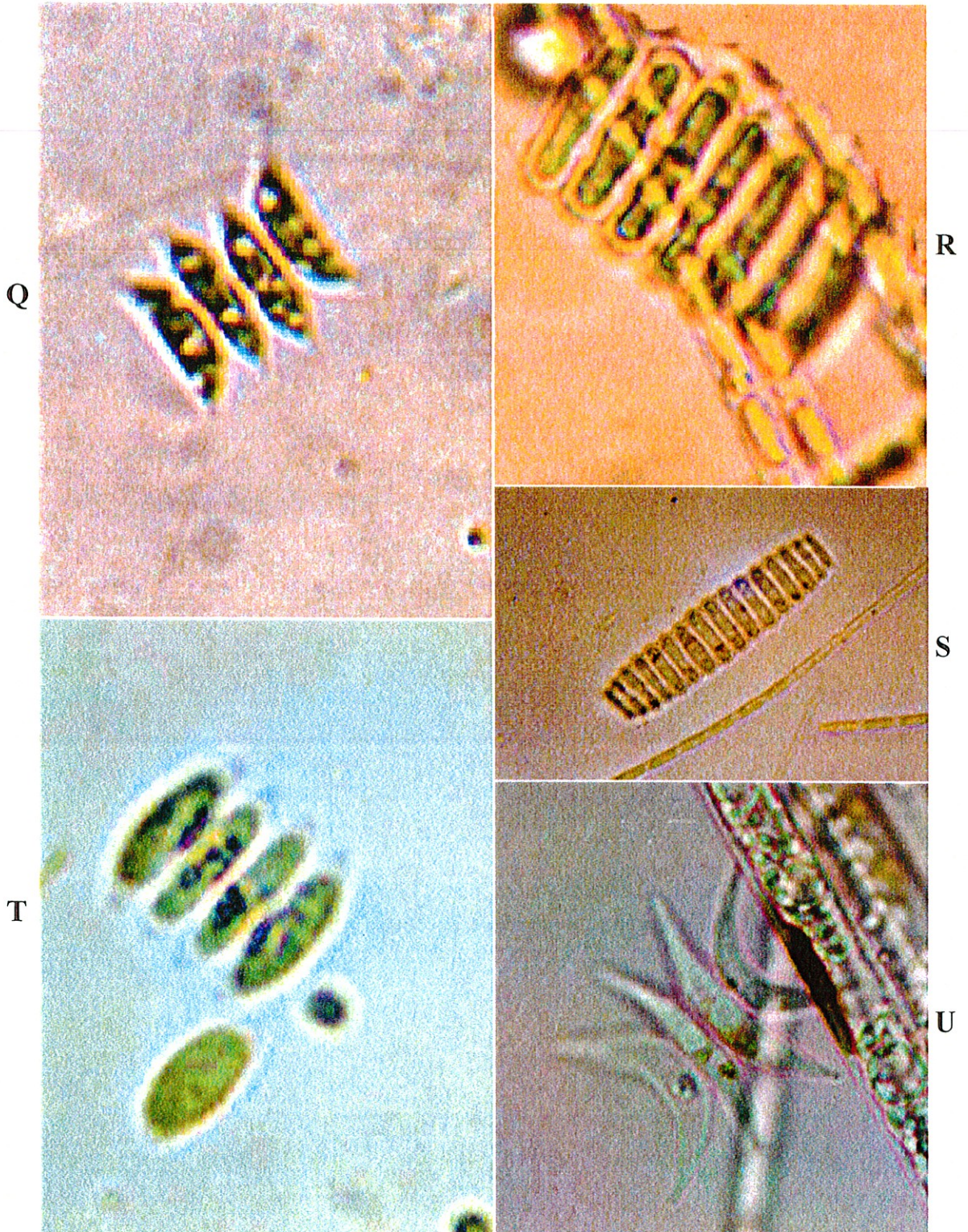


Lámina V: Chlorophyceae, Hydrodictyaceae

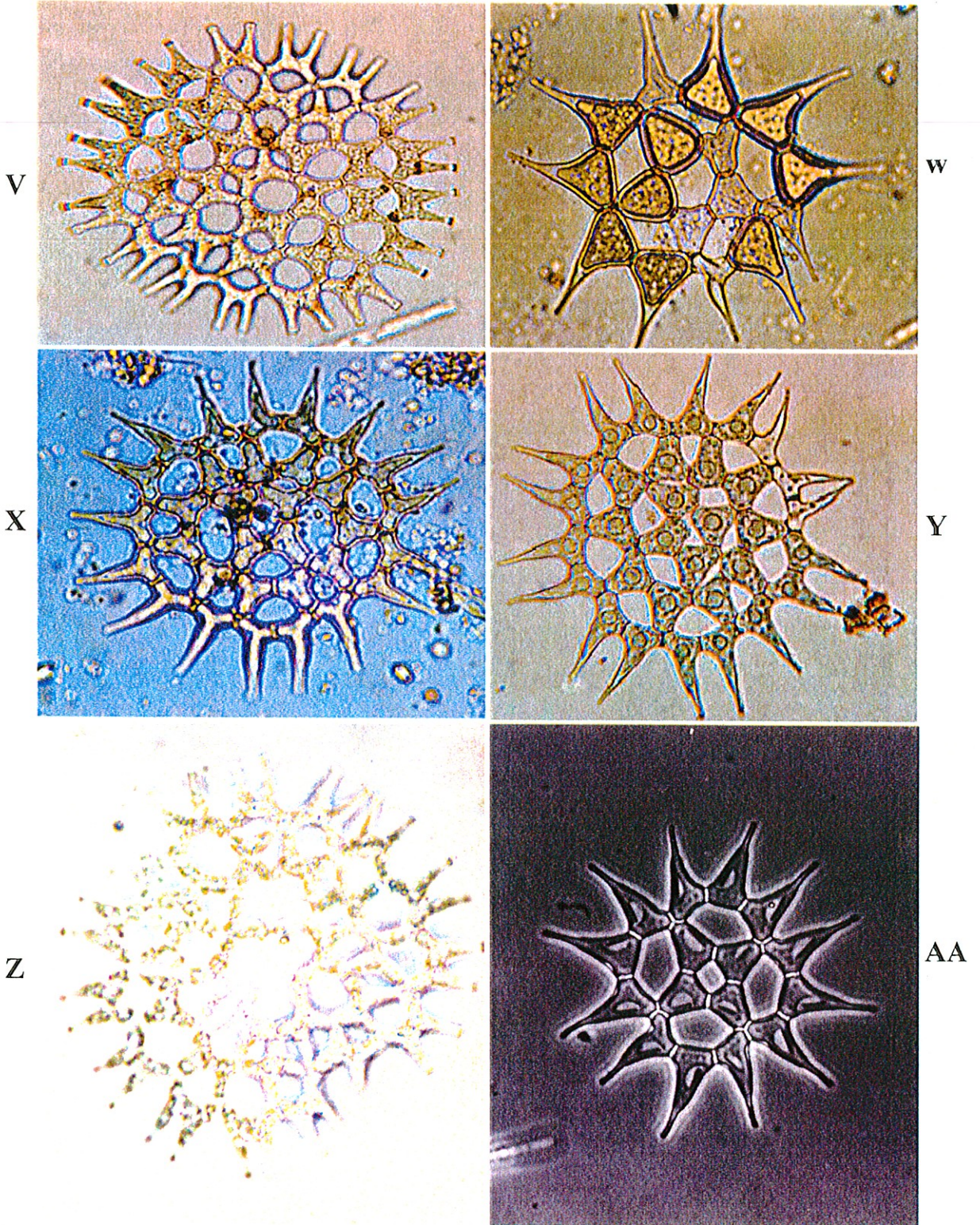


Lámina VI: Chlorophyceae, Closteriaceae y Desmidiaceae

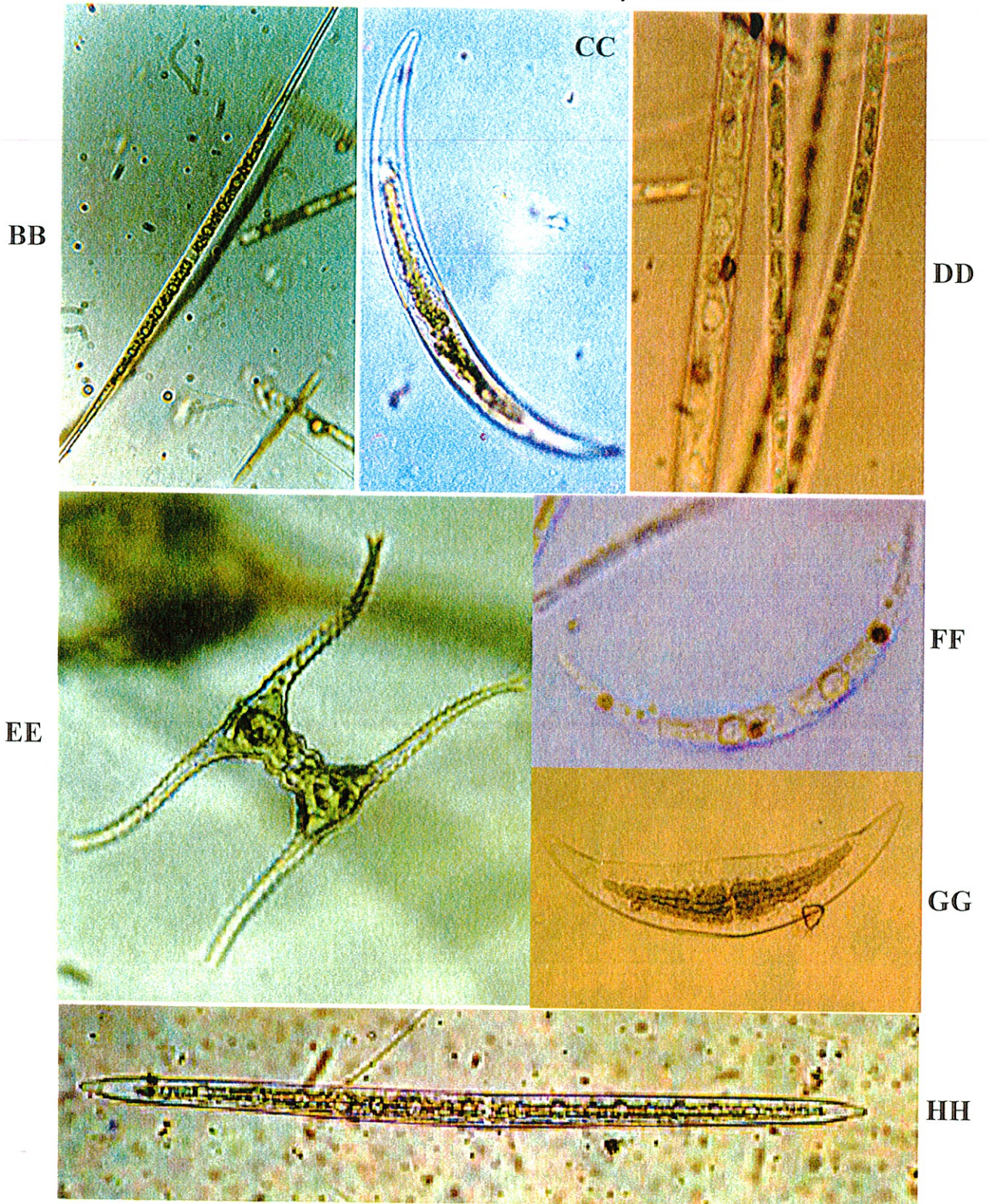
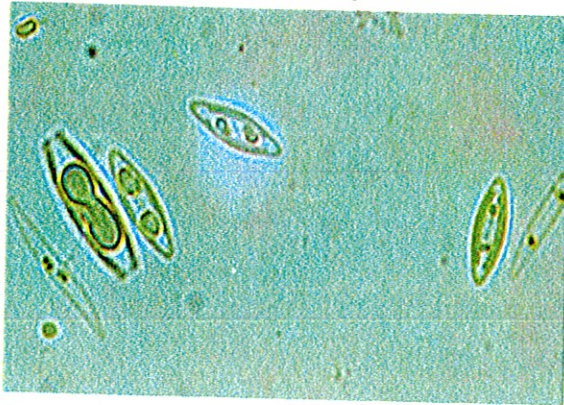
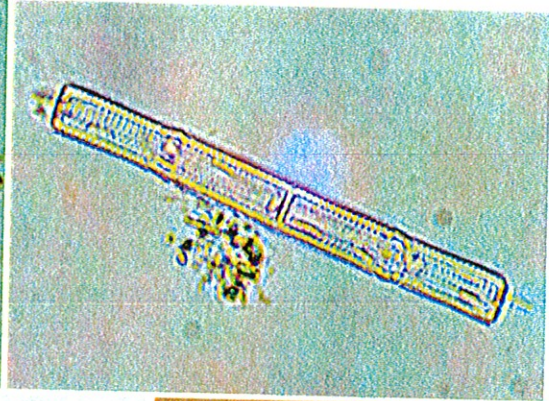


Lámina VII: Bacillariophyceae, Naviculaceae, Melosiraceae y Diatomaceae

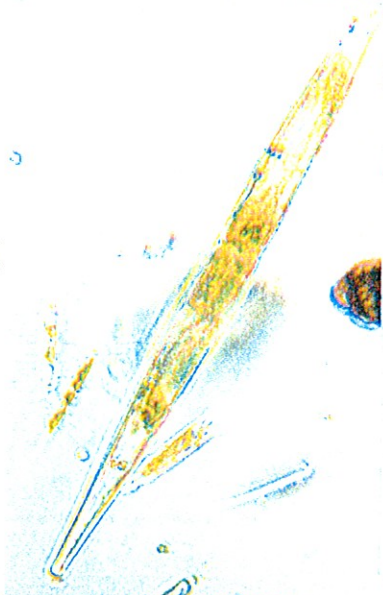
II



JJ



KK



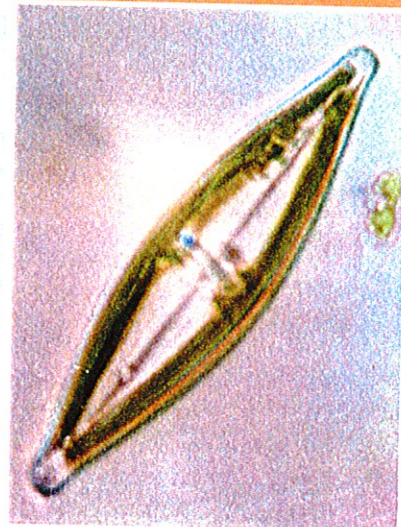
LL



MM



OO



NN



Lámina VIII: Euglenophyceae, Euglenaceae

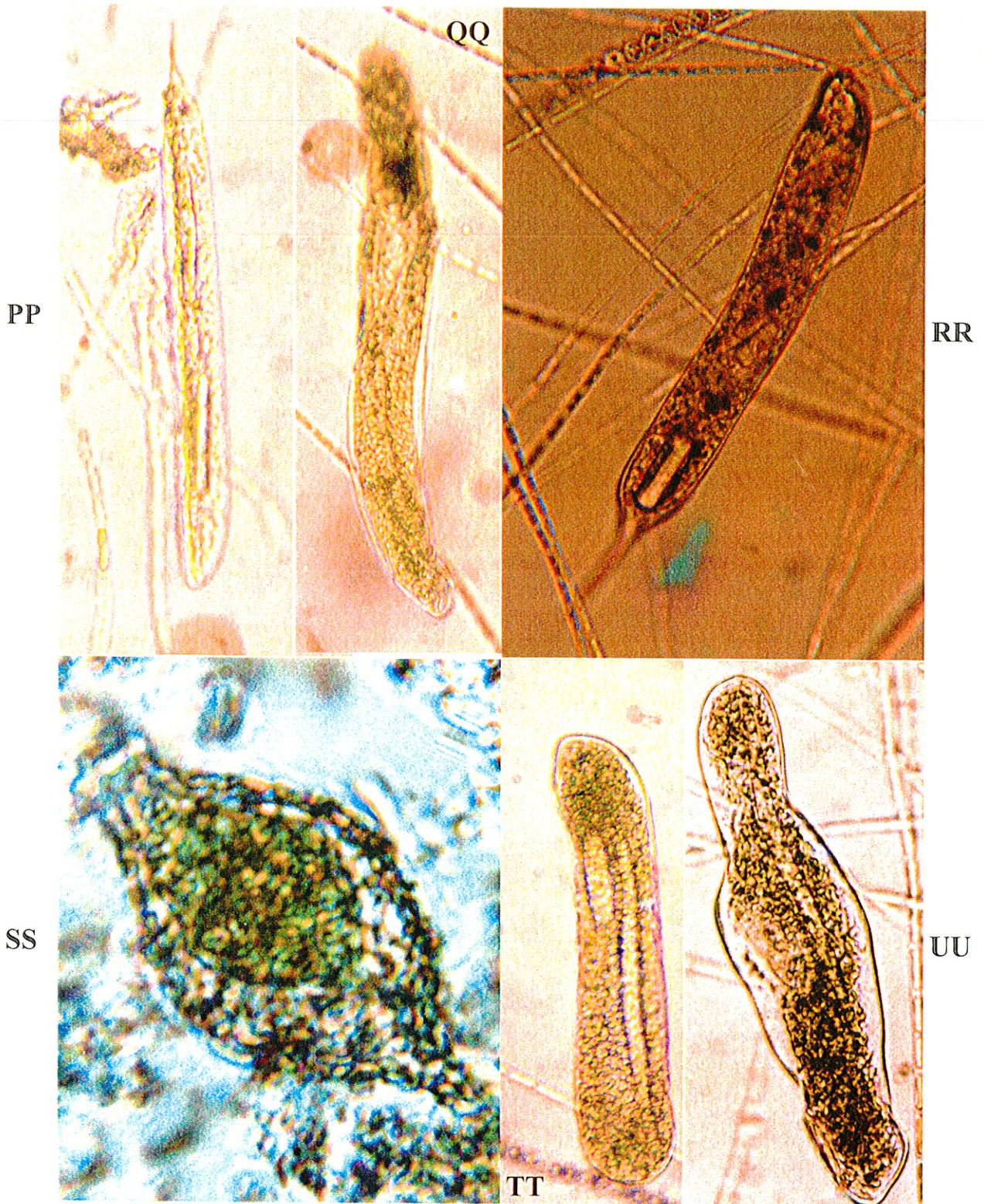
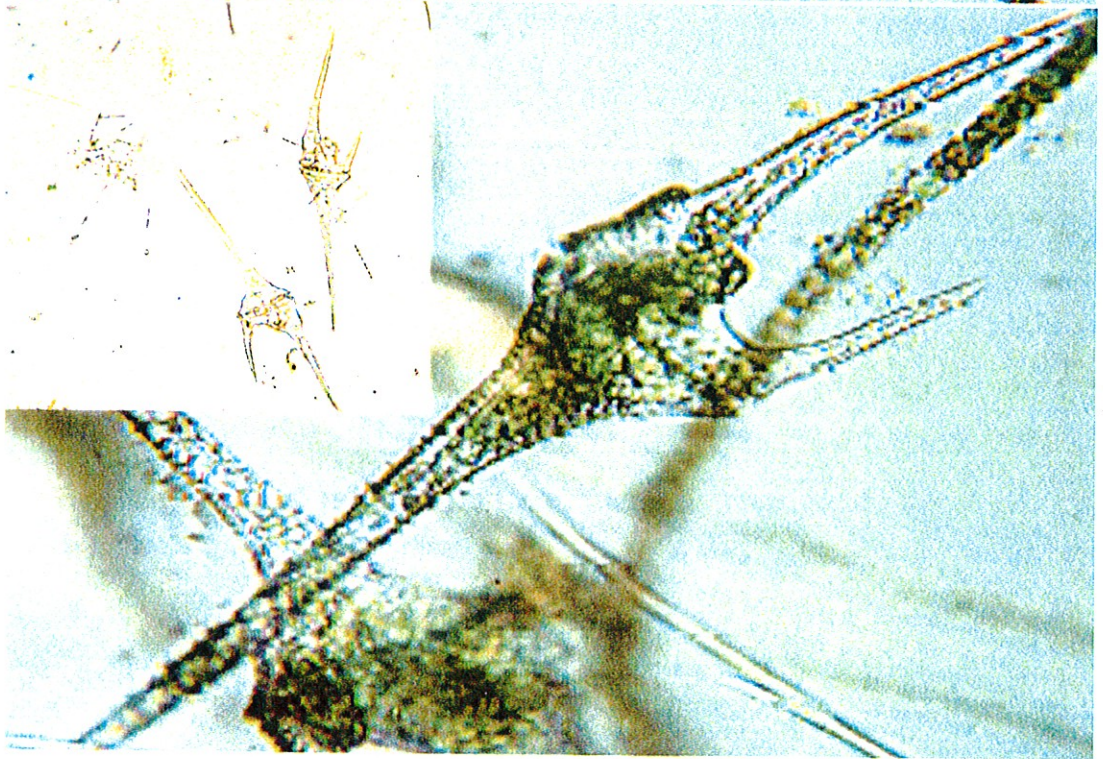


Lámina IX: Dinophyceae, Ceratiaceae



VV



WW

XX

CAPÍTULO 3

PATRONES DE ABUNDANCIA DE ALGA *ANABAENA* SPP. (CYANOPHYCEAE) EN EL LAGO DE CHAPALA ¹

INTRODUCCIÓN

El alga *Anabaena* pertenece a la división Cyanoprokaryota Komárek (también llamada Cyanobacteria o Cyanophyta), a la clase Cyanophyceae Sach, al orden Nostocales Geitler y a la familia Nostocaceae Dumont, son conocidas como algas verde-azules o cianofitas (Bold y Wynne 1985; Hoek *et al.* 1995; Lee 1999). Así como existen numerosos organismos útiles al hombre, hay un gran número de algas benéficas, pero también se encuentran perjudiciales, que pueden ocasionar una serie de trastornos; incluso le pueden provocar la muerte no sólo a él, sino a animales domésticos y silvestres. Las altas concentraciones de *Anabaena* spp. pueden causar desde irritaciones o erupciones en la piel hasta gastroenteritis cuando son consumidas (Martínez y Verde 1992). La principal toxina de *Anabaena* spp. se conoce como anatoxina, la cual es el alcaloide 2- acetyl-9-azabicyclo (4.2.1) non2-eno, un potente inhibidor del receptor nicotínico, que puede causar la muerte por paro respiratorio (Martínez y Verde 1992). *Anabaena* spp. también produce saxitoxina, cuyo efecto es neurotóxico, y es la única exotoxina que ha sido identificada hasta ahora en estas especies. La saxitoxina, al igual que la anatoxina, cuando es ingerida, causa la muerte por paro respiratorio (Martínez y Verde 1992). El ganado vacuno y otros animales domésticos pueden morir en pocas horas después de haber ingerido agua con concentraciones altas de *Anabaena* (Martínez *et al.* 1992).

Por otro lado, ciertas sustancias pueden inhibir el crecimiento de fitoplancton, incluyendo a *Anabaena* spp. Por ejemplo, el tule, *Typha latifolia* L., produce sustancias

¹ Actualización de los capítulos:

Mora Navarro, M. R., M. Guzmán Arroyo y E. G. Robles Jarero. 2000. El alga *Anabaena* sp. en el lago de Chapala. Pp. 122-123. En: E. Ríos Jara, E. Juárez Carrillo, M. Pérez Peña, E. López Uriarte, E. G. Robles Jarero, D. U. Hernández Becerril y M. Silva Briano (eds.). Reunión del X Aniversario de la Sociedad Mexicana de Planctología, Estudios sobre plancton en México y el Caribe. Sociedad Mexicana de Planctología y Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco.

Guzmán Arroyo, M., M. R. Mora Navarro, E. G. Robles Jarero y J. G. Michel Parra. 2000. El alga *Anabaena* spp. en el lago de Chapala: un problema de calidad del agua. Pp. 145-155. En: A. Valdez Zepeda, M. Guzmán Arroyo y S. Peniche Camps (eds.). Chapala en crisis. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco.

que inhiben el crecimiento de algas; esta planta y sus similares producen 2,4 metileno-fenol, stigma-4ene-3,-diona y 3 ácidos grasos, entre ellos el linoléico, alfa-linoléico y otro de 18 carbonos aún no identificado. Estas sustancias son selectivas para combatir a *Synechococcus leopolienses* y *Anabaena flos-aquae* (Martínez *et al.* 1992). Durante los años 1997 y 1998 se emprendió un programa de erradicación de malezas en la ribera nor-occidental del lago de Chapala, abarcando la mayor parte de los municipios de Chapala, Jocotepec y parte de Tuxcueca. Esta campaña consistió prácticamente en erradicar el tule con maquinaria pesada y formar cordones de esta vegetación sobre la misma playa. Aunque parte de este material se utilizó como abono en campos de cultivo no se consideró su valor como fitotecnología para controlar las poblaciones de *Anabaena*. La maquinaria pesada no sólo removió a la maleza, sino también una capa de hasta 50 cm de profundidad, poniendo de nuevo en circulación nutrientes y contaminantes atrapados en el sedimento, aumentando la descomposición de la maleza acumulada en la orilla e incorporando al cuerpo de agua, durante los periodos de lluvia, altas concentraciones de nutrientes en zonas específicas, los cuales contribuyen a los florecimientos de las algas del género *Anabaena*.

Un programa de monitoreo del fitoplancton del lago enfocado a los patrones espacio-temporales de abundancia de especies de algas indicadoras de alta contaminación, tales como *Anabaena* spp., es de suma relevancia social, ya que nos ayuda a tomar decisiones oportunas de manejo del lago ante problemas relacionados con la toxicidad del agua, que tanto afectan al hombre, al ganado y a la fauna silvestre.

En el presente trabajo se realiza: a) una descripción de las especies de *Anabaena* presentes en el lago; b) una valoración de su patrón de abundancia en el lago y de su relación con las variables físico-químicas (FQ), mediante análisis de correlación y de conglomerados; c) una comparación de su abundancia con otros géneros co-dominantes; y d) recomendaciones de manejo del lago con respecto a la presencia de *Anabaena*.

Área de estudio

El lago de Chapala se localiza en el occidente de México, en la parte oriente del estado de Jalisco, con un 90% de su superficie y en la parte noroeste de Michoacán con el 10% restante. Se ubica entre 20° 07' y 20° 21' N, y entre 102° 40' 45" y 103° 25' 30"

W, a una altitud de 1,524 m s.n.m. Corresponde a la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico, dentro de la subprovincia Chapala. El fondo del lago presenta una suave pendiente, que va desde la desembocadura del río Lerma en su parte oriental, hacia la parte más profunda en el centro-norte del lago, para después disminuir hacia sus riberas occidental, norte y sur. La forma general del lago es subrectangular-elongada, siendo su eje mayor en sentido este-oeste (Estrada *et al.* 1983, Guzmán 1992). El clima es semicálido subhúmedo, (A) C (wo) (w), con lluvias en verano y como el menos húmedo de los semicálidos (García 1975); la temperatura promedio anual es de 19.9° C. La temperatura ambiente máxima va de mayo a julio (27 a 30° C) y la mínima de diciembre a febrero (9 a 12° C). La frecuencia de granizadas anual es menor a dos días y el número de heladas es menor a 20 días al año. La precipitación promedio anual es de 875.2 mm, el mes más lluvioso es julio con 150-200 mm y el más seco es enero sin lluvias apreciables (Estrada *et al.* 1983).

MATERIAL Y MÉTODO

Trabajo de campo

Desde enero 1989 el Instituto de Limnología de la Universidad de Guadalajara, con sede en Chapala, estableció una red de 15 estaciones equidistantes en el lago de Chapala (Fig. 1). En vista del descenso del nivel del lago durante el periodo de muestreo, en especial por las grandes zonas expuestas en la parte oriental, las estaciones 14 y 15 se desplazaron 5 m hacia el oeste de su ubicación original. Los muestreos se realizaron en septiembre, octubre y diciembre de 1996, febrero y junio de 1997 y marzo de 1998. Se determinaron *in situ* los siguientes parámetros físico-químicos (FQ I): temperatura del aire y del agua, transparencia con disco de sechii, oxígeno disuelto y potencial hidrógeno (pH), con un equipo hidrolab (Khalsico), y se tomaron muestras de agua con una botella van Dorn de 3 lt. Para la recolecta del fitoplancton se utilizó una red de 45 cm de diámetro, 1 m de longitud y con una luz de malla de 50 µm. Se realizaron arrastres circulares durante tres minutos a una velocidad de un nudo. Las muestras recolectadas se colocaron en frascos de 100 ml, por duplicado para cada estación. Una muestra se fijó con formol al 4% y otra con formol al 4% y acetato de cobre, con el objeto de probar cual sustancia preservaba mejor las muestras.

Trabajo de Laboratorio

Las muestras de agua y de fitoplancton se transportaron al laboratorio para su estudio posterior. Los parámetros FQ II determinados a partir de las muestras de agua fueron: turbiedad, alcalinidad total, cloruros, dureza total, fósforo total, sólidos totales y sulfatos. La descripción de especies de *Anabaena* del lago de Chapala involucró la observación de alícuotas, mediante el microscopio óptico, de cada muestra recolectada. Para cada especie de *Anabaena* se describieron: tricoma, células vegetativas, heterocistos y acinetos. Además, se indican los ejemplares de referencia y se hace una discusión de las discrepancias observadas entre los especímenes encontrados y las especies reportadas en la literatura. Los ejemplares se identificaron mediante claves taxonómicas (Prescott 1954, 1973; Komárek y Anagnostidis 1986, 1989; Ortega 1984). Los especímenes testigos fueron depositados en la Colección Ficológica IBUG, del Laboratorio de Ficología del Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara, México.

El patrón espacio-temporal de *Anabaena* spp. se definió mediante la integración de los muestreos en un año, interpolando los meses que no fueron muestreados. Esto nos da una representación integral de la variación del volumen fitoplanctónico (ml/100 ml) a lo largo de un ciclo anual y de las estaciones de muestreo. Los datos fueron relativizados y divididos en seis clases de abundancia para ilustrar su gradiente espacial en el lago (Fig. 2).

Se realizó una descripción estadística previa de la la relación abundancia de *Anabaena* spp. con cada variables FQ, que incluyó: mínima, media, máxima, desviación estándar, coeficiente de variación, asimetría (skewness) y apuntamiento (kurtosis), con la finalidad de identificar la normalidad de las variables (Cuadro 1) y con ello guiar la interpretación de los resultados. La variación de los parámetros fisicoquímicos se ilustró mediante histogramas de frecuencias (Fig. 6). Se usó un análisis de regresión entre la abundancia de *Anabaena* y cada una de las variables FQ y se determinaron los límites de confianza (95%) de las rectas de regresión (Fig. 6). Para determinar cuales variables FQ estaban más relacionadas con la abundancia de *Anabaena*, éstas se clasificaron con base en una matriz de correlaciones (coeficiente de Pearson) (Cuadro 2). Con esta matriz se generó un dendrograma mediante la técnica de clasificación de Ward (McCune y

Mefford 1999; McCune y Grace 2002), un tipo de análisis de conglomerados de asociación simple que tiene la ventaja de reducir el grado de encadenamiento y conservar el espacio, y mejorar la definición de los grupos (Fig. 7). Las variables que en el dendrograma resultaron más relacionadas con la abundancia de *Anabaena* spp. se usaron para construir una gráfica tridimensional (Fig. 8).

Una vez seleccionados los géneros co-dominantes con *Anabaena* spp. se determinó cuales de ellos estuvieron más correlacionados entre sí, mediante el coeficiente de correlación. Además, se graficó su patrón espacial de abundancia en las 15 (Fig. 9).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de las especies de *Anabaena* spp.

Las muestras se fijaron mejor cuando se adicionó acetato de cobre a la solución de formol al 4%, por lo cual se recomienda su uso. La falta de acinetos en algunos especímenes limitó la correcta identificación de las especies, por lo que las determinaciones a especie son tentativas y se indican como aff. (especie afin a) y en su conjunto se optó por manejarlas como *Anabaena* spp. A continuación se describen brevemente las especies observadas en el área de estudio así como aquellas reportadas en la literatura con las que mostraron mayor afinidad y se presenta una fotografía de cada especie (Figs. 3, 4 y 5). De las nueve especies de *Anabaena* listadas en el cuadro 1, cinco se observaron de las muestras recolectadas ex-profeso para este estudio (1996-1998), de éstas, dos especies se degradaron antes de haber elaborado su diagnóstico, por lo que a continuación se describen solamente tres especies.

Anabaena aff. *affinis* Lemmermann. Tricoma de 30-120 x 4.5-6 µm, planctónico, en forma de rosario, flexuoso, contorneado, solitario o agregado en una masa enmarañada; células de 5.5-6.5 µm de diámetro, esféricas o subesféricas; heterocistos de 5-7 µm de diámetro, globosos; acineto de 10 x 18 µm, cilíndrico, *M. R. Mora Navarro 720-735* (IBUG). *Discusión*: Esta especie concuerda con *A. affinis* porque tanto el tricoma como el heterocisto no están embebidos en una membrana mucilaginosa; sin embargo, en los ejemplares estudiados los acinetos son de mayor tamaño que en *A. affinis*. Por la forma de las células y por su acineto se parece a *A.*

planctonica Brunenthaler y *A. spiroides*, pero los heterocistos no tienen membrana mucilaginosa como en *A. planctonica* y el tricoma no está embebido en una membrana mucilaginosa como en *A. spiroides*.

Anabaena aff. *flos-aquae* Brébisson & Godey. Tricoma de 60-125 x 5-6 µm, planctónico, flexuoso y contorneado, solitario o en grupos flotantes; células de 5 µm de diámetro, esféricas o subcilíndricas; heterocistos de 5-5.5 (-6) µm de diámetro, esféricos o ligeramente achatados; acinetos ausentes. *M. R. Mora Navarro 708-725 (IBUG)*. *Discusión*: Por la distribución y el tamaño de las células y por los heterocistos se asemeja a *A. flos-aquae*, pero en las muestras estudiadas no se observó el acineto. Por la forma y agrupación de las células en el tricoma se parece a *A. circinalis* Rabenhorst, pero es menor que esta última.

Anabaena aff. *spiroides* Klebahn. Tricoma de 20-45 x 5-6 µm, planctónico, en forma de rosario, flexible, contorneado, en ocasiones ondulado de manera irregular, solitario o agregado; células de 5-7 x 4-5 µm, esféricas o subcilíndricas; heterocistos de 5-7 µm de diámetro, globosos; acineto ausente. *M. R. Mora Navarro 676-678, 730 (IBUG)*. *Discusión*: Por la disposición contorneada del tricoma se asemeja a *A. spiroides*, pero es menor en tamaño que esta última. Es similar en morfología a *A. circinalis*, pero es más pequeña que esta última; por el tamaño y distribución de las células se parece más a *A. affinis* Lemmerman, pero esta última no tiene el tricoma contorneado.

Patrón espacio-temporal de *Anabaena*

Las mayores concentraciones del alga (abundancia promedio de seis muestreos) se manifestaron en la parte centro-norte del lago y centro-oriente, que corresponden a la desembocadura del río Lerma y a la zona cercana a la isla de Mezcala (Fig. 2). La desembocadura del río Lerma y la mayor actividad antrópica (principalmente pesquera y turística) pueden estar creando condiciones de mayor oxigenación y con ello un mayor desarrollo de las poblaciones de *Anabaena* spp. (Streble y Krauter 1987). Otra posibilidad es que el proceso de eutrofización que resulta de la desembocadura del río Lerma y de los desechos de la actividad pesquera estén aumentando la disponibilidad de nitrógeno, causando así la proliferación de algas azules (incluido el género *Anabaena*), dotadas de una estructura especializada (heterocisto) cuya función principal es la

fijación de nitrógeno (Parra y Bicudo 1999). Sin embargo, en marzo de 1998 la abundancia de *Anabaena* disminuyó de manera inusual, quizá relacionado a la eliminación de la maleza del lago, la cual que tuvo lugar de diciembre de 1997 y principios de 1998; este hecho y la remoción de los depósitos del suelo, pudo haber incrementado la turbiedad, reduciendo con ello la capacidad fotosintética y reproductiva de muchos géneros de algas, incluyendo a *Anabaena*.

El patrón temporal de *Anabaena* spp. resulta difícil de evaluar por la falta de periodicidad de los muestreos a lo largo de los años, ya que los datos disponibles representan observaciones aisladas. De acuerdo a Núñez y Reyes (1995), en 1989 *Anabaena* se presentó en algunas de las estaciones en el lago de Chapala, siendo más abundante de octubre a diciembre; en 1990 y 1991 su comportamiento fue similar. De acuerdo a Mora y Castro (1999) y a Mora *et al.* (1999a, 1999b), de 1996 a 1998 se observó un considerable aumento, principalmente de septiembre a diciembre de 1997. Durante el otoño e invierno de 1996-1998 *Anabaena*, *Aphanizomenon* y *Microcystis* fueron los géneros más abundantes, principalmente los dos primeros. (Mora *et al.* 1999c).

En latitudes mayores, *Anabaena* spp. tiende a florecer en veranos cálidos (Prescott 1973), contrario a lo observado en el área de estudio (otoño e invierno). Esto sugiere que las especies de *Anabaena* son sensibles a los cambios estacionales y parecen responder a un óptimo de temperatura.

Abundancia y su relación con las variables FQ

La descripción estadística de las variables mostró que los parámetros con mayor coeficiente de variación (28.3-57.8%) en orden descendente fueron: turbiedad, transparencia, sulfatos y oxígeno disuelto. Las variables con mayor asimetría (skewness)($\pm 1.722-2.806$) fueron: turbiedad, sólidos totales, alcalinidad total, pH, cloruros y dureza total. Las variables con mayor apuntamiento (kurtosis) (7.043-10.51) fueron: sólidos totales, alcalinidad total, turbiedad, cloruros, dureza total y pH. *Anabaena* spp. presentó una asimetría baja y apuntamiento bajo con relación a la mayoría de las variables FQ medidas (Cuadro 1 y Fig. 6). Los datos del cuadro 1 y los

histogramas (Fig. 6) demuestran que muchas variables no presentan una distribución normal y por lo tanto requieren ser transformadas antes de poder ser relacionadas con la abundancia de *Anabaena* spp., la cual si mostró un histograma de frecuencias cercano a una distribución normal (Fig. 6). La temperatura y el oxígeno disuelto mostraron una mayor correlación con la abundancia de *Anabaena* spp. (Cuadro 2), lo cual se observa en la mayor pendiente de las líneas de regresión respectivas (Fig. 6). De acuerdo al análisis de cúmulos o conglomerados (Fig. 7), *Anabaena* spp. mostró una relación más estrecha con la temperatura y el oxígeno disuelto, con las que formó un primer grupo, el cual se asoció a un segundo grupo compuesto por la dureza total, el pH, alcalinidad total, y cloruros. Un tercer grupo lo formaron los parámetros FQ restantes: turbiedad, fosfatos, sólidos totales, transparencia y sulfatos, los cuales no mostraron relación con *Anabaena*.

Las poblaciones de *Anabaena* mostraron un gradiente de abundancia relacionado directamente al incremento combinado de temperatura y oxígeno disuelto. La abundancia de *Anabaena* alcanzó un máximo en las cinco estaciones que presentaron la mayor cantidad de oxígeno disuelto y a su vez la temperatura más alta, seguidas de cuatro estaciones con abundancia intermedia en áreas de mayor temperatura pero menor oxígeno; otras cinco estaciones mostraron niveles de abundancia intermedia en niveles de menor oxígeno y de menor temperatura y fue solamente una estación con abundancia media-baja, en niveles de baja temperatura y mayor oxígeno (Fig. 8). Lo anterior contrasta con el conocimiento generalizado de que las aguas más frías tienen más oxígeno; ésto sugiere que la actividad biológica de *Anabaena* spp. y quizá de otros géneros de algas pueden estar creando una mayor concentración de oxígeno en una tercera parte de las estaciones de mayor temperatura. Lo anterior también es congruente con el hecho de que las especies de *Anabaena* prefieren aguas con bajas concentraciones de CO₂ (Parra y Bicudo 1999), y quizá relacionado con el descenso de poblaciones de zooplancton en invierno que estaría reduciendo el consumo de O₂ y la concentración de CO₂ (Fig. 8).

Comparación de abundancia entre géneros co-dominantes

Los géneros más abundantes de los muestreos de 1996 a 1998 fueron en orden de importancia: *Planctonema*, *Closterium*, *Anabaena*, *Aulacoseria*, *Microcystis*, *Aphanizomenon*, *Ceratium*, *Staurastrum*, *Pediastrum* y *Euglena*. A partir del coeficiente de correlación (r) entre los géneros más abundantes con respecto a la abundancia de *Anabaena*, se obtuvo una correlación positiva y media con *Planctonema* (0.419), positiva y baja con *Ceratium* (0.296) y *Closterium* (0.147) y una correlación negativa y baja con *Euglena* (-0.138) y *Aulacoseria* (-0.119). Con el resto de los géneros la correlación es todavía más baja (Fig. 9).

La relación observada entre *Anabaena* y *Planctonema* podría estar reflejando su semejanza morfológica, ambiental y temporal, ya que ambas son filamentosas y se desarrollan en ambientes beta-mesosaprobios y hacia el otoño e invierno. Sin embargo, esto no tiene gran soporte, pues *Aulacoseria*, que no mostró correlación, también es filamentosa y crece en ambientes beta-mesosaprobios, lo cual fue inesperado. La mayoría de los géneros que no resultaron correlacionados incluyen algas unicelulares, lo cual apoya una hipótesis de diferenciación de hábitat con relación a la forma y hábito de las especies. Sólo *Aphanizomenon*, *Aulacoseria* y *Planctonema* presentaron una semejanza morfológica con *Anabaena*; sin embargo, el primero de ellos presenta una separación temporal (estando ausente en septiembre y octubre de 1996), mientras que *Anabaena* tuvo una presencia del 40-66%, quizá relacionada al descenso de temperatura del verano a otoño. La baja correlación de abundancia del género *Anabaena* con otros géneros dominantes precisa mayores estudios orientados a explorar una posible especialización y diferenciación de hábitat, o bien fenómenos relacionados con la exclusión competitiva. Lo anterior es contrario a lo que reporta Prescott (1973) de la región de los Grandes Lagos en Estados Unidos, en donde la abundancia del género *Anabaena* se correlaciona con los géneros *Aulacoseria* y *Microcystis*. Los sulfatos podrían ser irrelevantes para ciertos géneros y especies como se mostró para *Anabaena* en este trabajo (Cuadro 2, Fig. 7); sin embargo, a nivel de comunidades los sulfatos se consideran como una de las principales variables que contribuyen a la organización del fitoplancton (Mora *et al.* 2004, capítulo 4). Esto muestra que *Anabaena* spp. presentó un patrón distinto a la mayoría de las especies de algas, en cuanto a su respuesta a la cantidad de sulfatos, lo cual requiere investigación adicional.

Implicaciones para el manejo del lago con relación a la presencia de *Anabaena*

Los florecimientos de *Anabaena* pueden degradar la calidad del agua al reducir su transparencia, afectar su sabor y olor, remover el oxígeno de aguas profundas, alterar la composición y riqueza de las comunidades de peces y macrófitas sumergidas, y producir compuestos tóxicos que ponen en riesgo la salud del hombre y de los animales. La restauración efectiva y eficiente del lago de Chapala y su desarrollo sustentable deben fundamentarse en estudios de fitotecnología y de ecohidrología. En particular, el conocimiento de la sucesión del fitoplancton en el lago de Chapala debe ser una prioridad, ya que puede proporcionar alternativas para evitar los florecimientos de algas tóxicas y aportar información para un manejo eficiente de las poblaciones de *Anabaena* spp., las cuales, como ya se ha mencionado, son perjudiciales en concentraciones altas. Otras acciones, aunado al manejo del fitoplancton, pueden coadyuvar a mejorar la calidad del lago y aumentar los beneficios para la región, tales como el establecimiento de plantas de tratamiento tradicionales y reducción de desechos orgánicos que puedan elevar el flujo de nutrimentos hacia el cuerpo de agua. La reducción de contaminantes y la ampliación de los reservorios de agua dulce generan beneficios sociales adicionales, al incrementar su atractivo turístico (abriendo oportunidades para recreación) y con ello el flujo de divisas de la región. Las plantaciones de sauces y otros árboles riparios proveen recursos alternativos de energía (bioenergía), que contribuyen a la reducción de las emisiones de CO₂ derivadas de combustible fósil. Las cenizas resultantes pueden usarse como fertilizante de plantaciones forestales. La producción de bioenergía y de madera también generan empleos y oportunidades de ingresos y reducen egresos por consumo de combustible fósil (Salt *et al.* 1995, UNEP-IETC 2002). Estas acciones mejorarían notablemente calidad del ambiente y ayudarían a elevar el estatus económico y el nivel de desarrollo sustentable de las comunidades locales (Valdez *et al.* 2000, Guzmán 2003).

LITERATURA CITADA

- Bold, H. C. y M. J. Wynne. 1985. Introduction to the algae. Prentice-Hall, Inc. New Jersey. 720 pp.
- Estrada Faudón, E., E. Flores Tritschler y J. E. Michel R. 1983. Lago de Chapala, investigación actualizada. Instituto de Geografía y Estadística-Instituto de Astronomía y Meteorología, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco. 67 pp.
- García, E. 1975. Modificación a la clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía-UNAM, México, D. F. 75 pp.
- Guzmán Arroyo, M. 1992. El lago de Chapala. Información básica. Instituto de Limnología, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco. 14 pp.
- Guzmán Arroyo, M. 2003. Chapala: una crisis programada. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, Guadalajara, Jalisco. 388 pp.
- Hoek, C. v. d., D. Mann, y H. M. Jahns. 1995. Algae. An introduction to phycology. Koeltz Scientific Books, Koenigstein. 576 pp.
- Komárek, J. y K. Anagnostidis. 1986. Modern approach to the classification system of Cyanophytes-2-Croococcales. Arch. Hydrobiol. Supplementband 73. Algological Studies 43: 157-226.
- Komárek, J. y Anagnostidis, K. 1989. Modern approach to the classification system of Cyanophytes-4-Nostocales. Archiv. Hydrobiol. Supplementband 82. Algological Studies 56: 247-345.
- Lee, R. E. 1999. Phycology (3 ed.). Cambridge University Press, Cambridge. 614 pp.
- Martínez L., S. y J. Verde S. 1992. Algas tóxicas de importancia en salud pública. Pub. Biol. Fac. Cienc. Biol. Univ. Autónoma de Nuevo León 6(1): 96-104.
- Martínez L., S., J. Verde S., L. Villarreal R., M. González A. y T. Castro L. 1992. Método para el control de algas en abastecimientos de agua. Pub. Biol. Fac. Cien. Biol. Univ. Autónoma de Nuevo León 6(1): 87-95.
- McCune, B. y J. B. Grace. 2002. Analysis of ecological communities. MjM Software Design, Gleneden Beach. 300 pp.
- McCune, B. y M. J. Mefford. 1999. *PC-ORD*. Multivariate analysis of ecological data. Versión 4. MjM Software Design, Gleneden Beach. 300 pp.

- Mora Navarro, M. R. y T. Castro Cruz. 1999. Fitoplancton del lago de Chapala. De Vinci 1(1): 39-42.
- Mora Navarro, M. R., T. Castro Cruz y M. Guzmán Arroyo. 1999a. Fitoplancton del lago de Chapala. P. 50. En: Resúmenes 3º Congreso Mexicano de Ficología. Sociedad Ficológica de México, La Paz, Baja California Sur.
- Mora Navarro, M. R., T. Castro Cruz y M. Guzmán Arroyo. 1999b. Flora fitoplanctónica del lago de Chapala, Jalisco, Michoacán. P. 59. En: Memorias. V Jornadas de Biología. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco.
- Mora Navarro, M. R., T. Castro Cruz y M. Guzmán Arroyo. 1999c. Microalgas de importancia encontradas en el fitoplancton del lago de Chapala, Jalisco, Michoacán. P. 37. En: Memorias, V Jornadas de Biología. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco.
- Mora Navarro, M. R., J. A. Vázquez García y Y. L. Vargas Rodríguez. 2004. Ordenación de comunidades de fitoplancton en el lago de Chapala, Jalisco-Michoacán, México. Hidrobiológica (en prensa).
- Núñez Márquez, G. y G. E. Reyes González. 1995. Contribución al conocimiento del fitoplancton del lago de Chapala, Jalisco, México, durante el periodo de 1989, 1990 y 1991. Tesis de Licenciatura en Biología. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco. 69 pp.
- Ortega, M. M. 1984. Catálogo de las algas continentales recientes de México. Instituto de Biología, UNAM, México, D. F. 566 pp.
- Parra, O. O. y C. E. M. Bicudo. 1999. Introducción a la biología sistemática de las algas de aguas continentales. Ediciones Universidad de Concepción, Santiago de Chile. 268 pp.
- Prescott, G. W. 1954. How to know the fresh-water algae. WM. C. Brown Company, Dubuque. 211 Pp.
- Prescott, G. W. 1973. Algae of the western Great Lakes area. WM. C. Brown Company, Dubuque. 977 pp.

- Salt, D. E., M. M. Blalock, P. Kumar, V. Dushenkov, B. D. Ensley y I. Raskin. 1995. Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Biotechnology* 13: 468-474.
- Streble, H. y D. Krauter. 1987. Atlas de los microorganismos de agua dulce. La vida en una gota de agua. Ed. Omega. Barcelona. 357 pp.
- UNEP-IETC. 2002. Phytoremediation as environmentally sound technology for pollution prevention, control and remediation. An introductory guide for decision-makers. UNEP-IETC, Osaka. 13 pp.
- Valdez Zepeda, A., M. Guzmán Arroyo y S. Peniche Camps (eds.). 2000. Chapala en crisis. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco. 177 pp.

Cuadro 1.

Intervalos estadísticos para *Anabaena* y parámetros (físico-químicos I y II). N=10.

Variable	Unidad	Mínimo	Media	Máximo	DE	CV	Asimetría	Apuntamiento
<i>Anabaena</i> spp.	# tricomas	1,000	1,857	2,500	353	19.0%	1.570	-0.830
Temperatura	°C	17.2	21.7	28.8	2.46	11.3%	0.382	-0.155
Oxígeno disuelto	mg/l	2.0	6.4	11.4	1.81	28.3%	-0.434	0.380
pH	-log[H ⁺]	7.1	8.7	9.3	0.36	4.2%	-2.395	7.043
Turbiedad	UTN	18.0	32.3	120.0	18.66	57.8%	2.806	9.132
Transparencia	cm	5.0	31.3	55.0	12.42	39.6%	-0.049	-0.701
Alcalinidad total	mg/l	77	340	426	57.52	16.9%	-2.646	10.02
Cloruros	mg/l	23.0	53.6	64.0	6.86	12.8%	-1.980	7.743
Dureza total	mg/l CaCO ₃	92	228	306	31.98	14.1%	-1.722	7.187
Fósforo total	mg/l PO ₄ ⁻	0.28	0.47	0.81	0.08	17.6%	1.594	4.893
Sólidos totales	mg/l	570	667	990	65.56	9.8%	2.682	10.51
Sulfatos	mg/l SO ₄ ⁻	19.4	78.6	117.8	27.46	34.9%	-1.134	0.400

Clave: DE = desviación estándar, CV = coeficiente de variación.

Cuadro 2.

Matriz de correlaciones de *Anabaena* y parámetros (físico-químicos I y II).

Variable	T°C	O ₂	pH	TU	TR	ALC	Cl	D	PO ₄	SOL	SO ₄
<i>Anabaena</i>	0.376	0.201	0.088	-0.086	-0.027	0.092	0.131	-0.168	-0.017	0.038	0.120
T°C	1	0.436	-0.108	0.081	0.198	-0.236	-0.100	-0.490	0.291	0.262	0.238
O ₂		1	0.551	-0.521	-0.365	0.415	0.554	0.171	-0.462	-0.484	-0.270
pH			1	-0.785	-0.517	0.868	0.822	0.763	-0.785	-0.779	-0.131
TU				1	0.845	-0.861	-0.800	-0.811	0.898	0.919	0.283
TR					1	-0.777	-0.772	-0.695	0.819	0.823	0.442
AL						1	0.950	0.878	-0.838	-0.856	-0.284
Cl							1	0.771	-0.760	-0.800	-0.443
D								1	-0.843	-0.836	-0.299
PO ₄									1	0.949	0.237
SOL										1	0.287
SO ₄											1

Clave: TU=turbiedad, TR=transparencia, ALC=alcalinidad total, Cl=cloruros, D=dureza, SOL=sólidos totales. N=10.

Figura 1.

Red de estaciones de muestreo en el lago de Chapala.

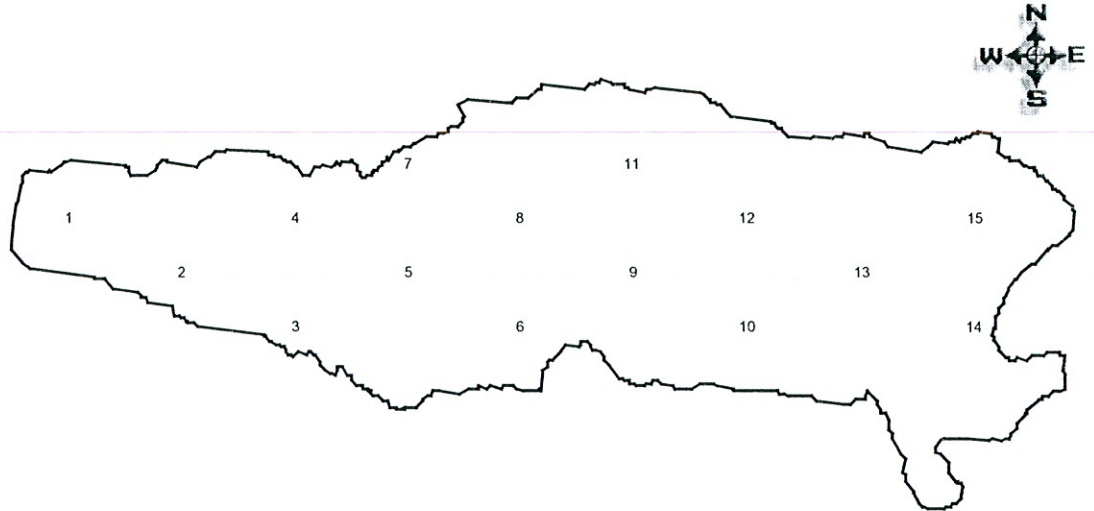
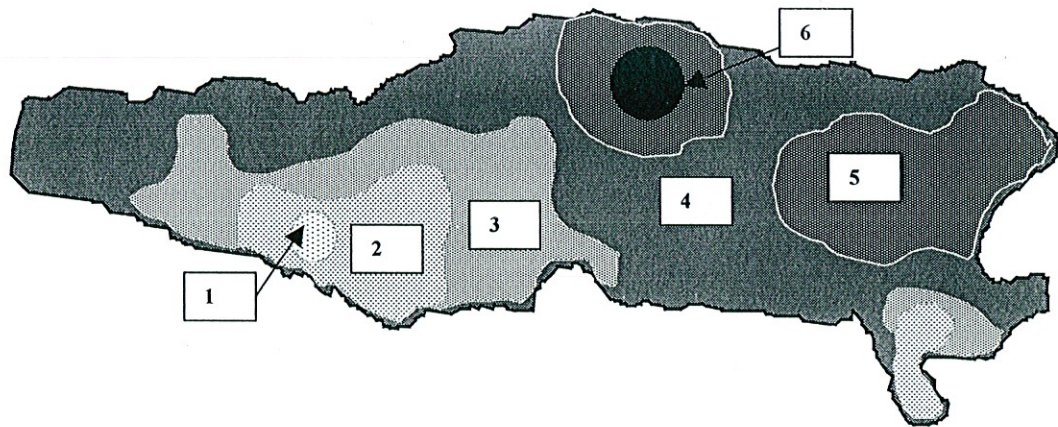


Figura 2.

Abundancia media de *Anabaena* spp. a lo largo de los seis muestreos en el lago de Chapala.



Clave: 1=Extremadamente baja, 2=Muy baja, 3=baja, 4=alta, 5=muy alta, 6=extremadamente alta.

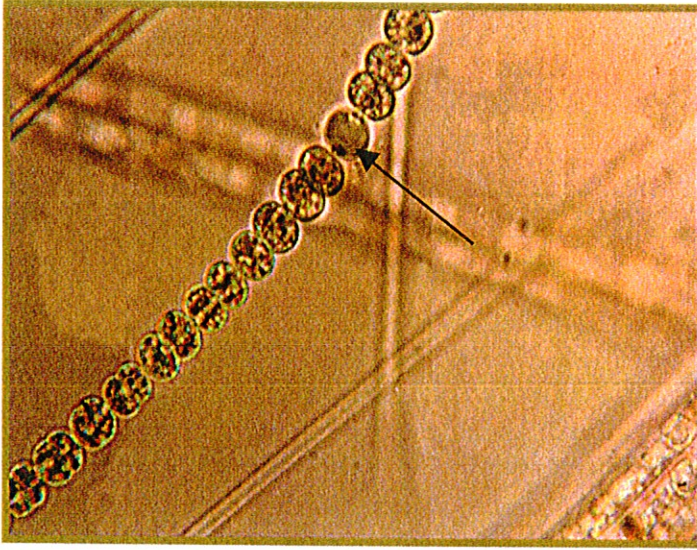


Figura 3. *Anabaena* aff. *flos-aquae*. Tricoma solitario; heterocisto esférico (flecha), ligeramente achatado; células ovaladas; sin acineto; 100 x, M. R. Mora Navarro 708 (IBUG).

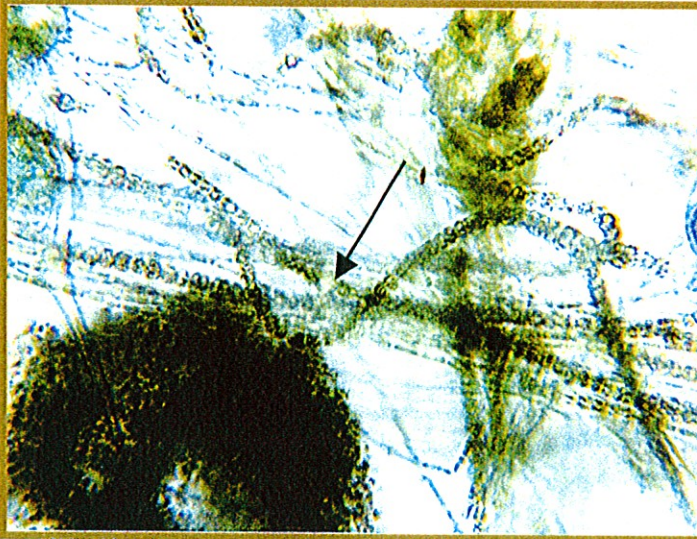


Figura 4. *Anabaena* aff. *spiroides*. Tricoma contorneado; células esféricas o subcilíndricas, heterocisto globoso (flecha); sin acineto; 40 x, M. R. Mora Navarro 730 (IBUG).

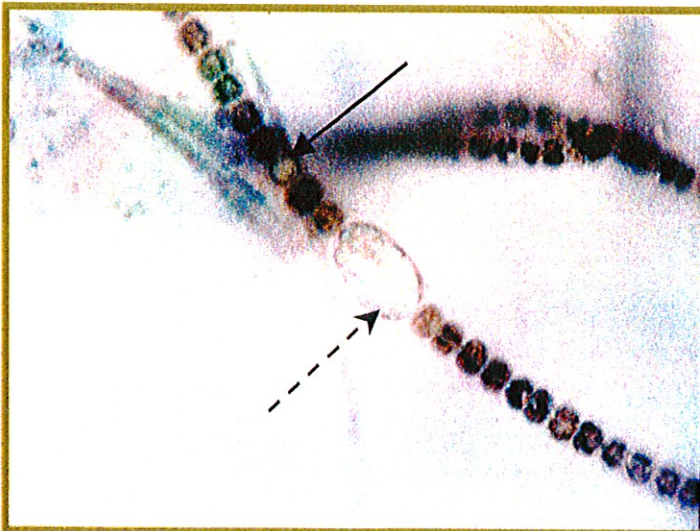


Figura 5. *Anabaena* aff. *affinis*. Tricoma en forma de rosario; células esféricas; heterocisto globoso (flecha continua); acineto cilíndrico (flecha discontinua); 40 x, M. R. Mora Navarro 723 (IBUG).

Figura 6.

Histogramas y regresiones entre *Anabaena* spp. y parámetros físico-químicos. Los valores de correlación se muestran en el cuadro 2, N=10.

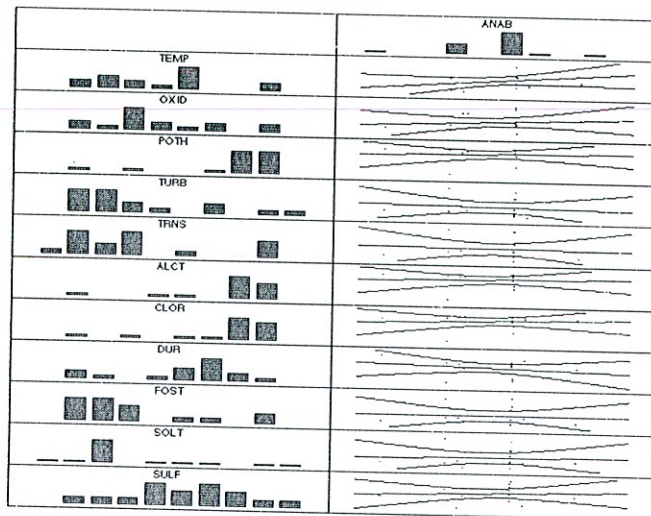


Figura 7.

Relación de *Anabaena* spp. con los parámetros FQ. *Anabaena* es la variable dependiente y el resto son variables independientes.

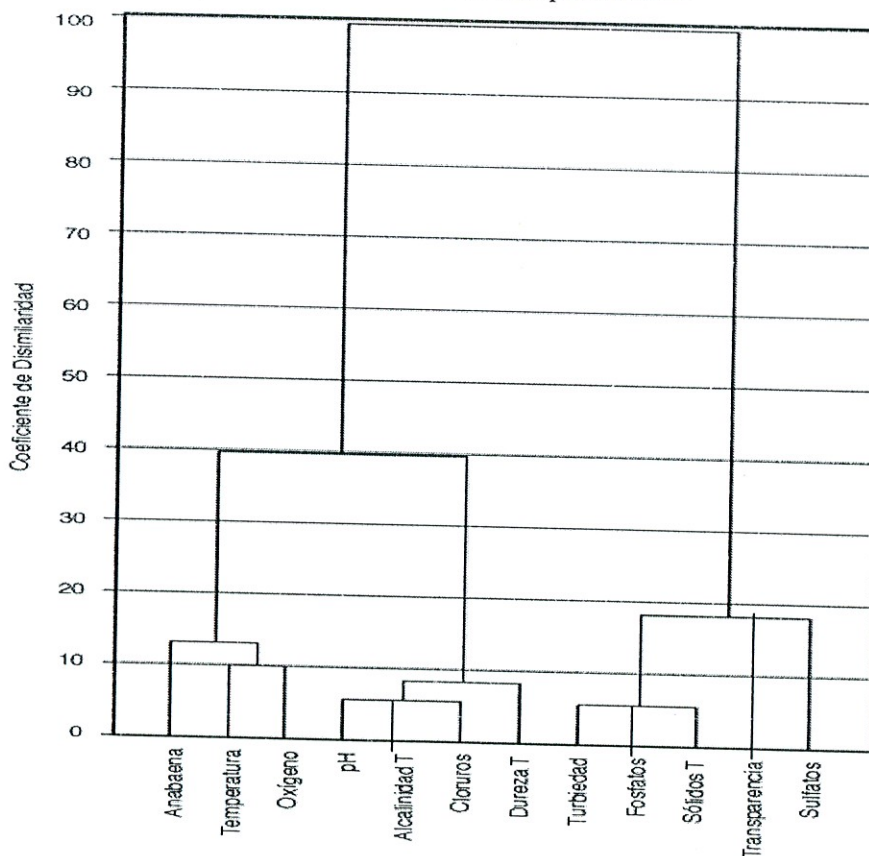
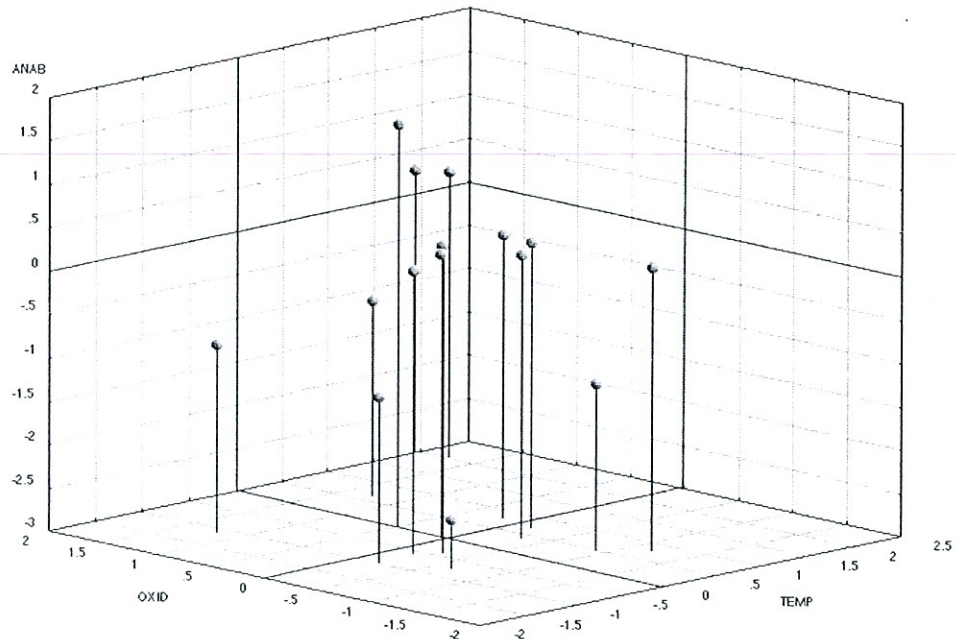


Figura 8.

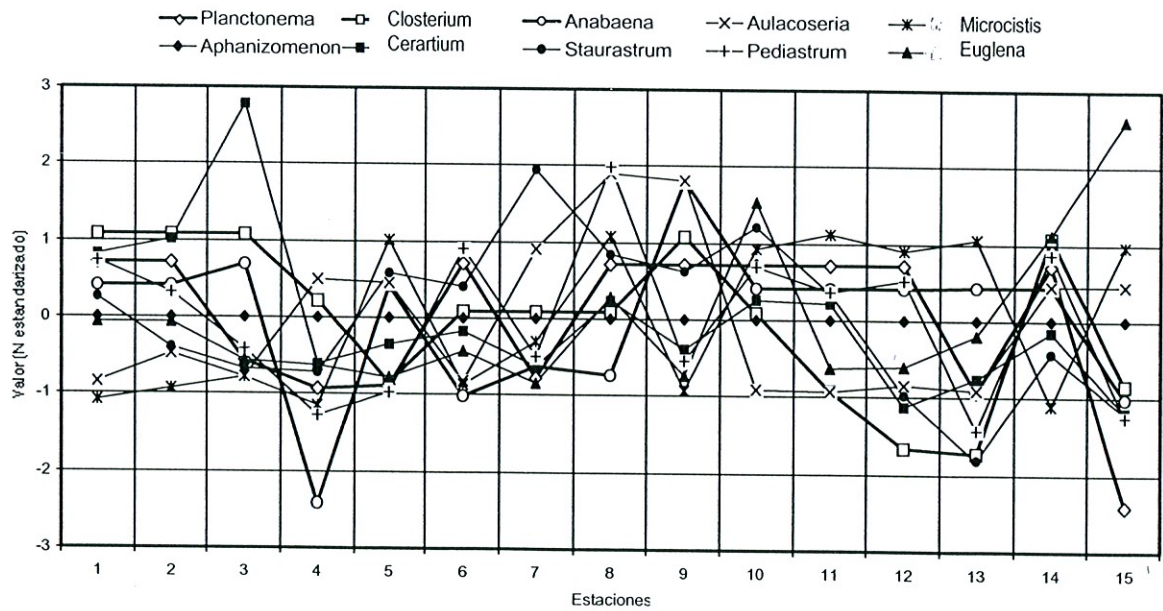
Relación de *Anabaena* spp. con la temperatura y el oxígeno disuelto.



Clave: Escalas con datos estandarizados según $z = (x - m) / DE$, donde z es el dato normalizado, x el valor del dato original, m la media y DE la desviación estándar del colectivo de datos.

Figura 9.

Los diez géneros más abundantes de fitoplancton en el lago de Chapala.



CAPÍTULO 4

ORDENACIÓN DE COMUNIDADES DE FITOPLANCTON EN EL LAGO DE CHAPALA, JALISCO-MICHOACÁN, MÉXICO¹

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las algas, en particular su ecología en aguas continentales, ha sido muy limitado. Esto es en parte debido a la visión antropocéntrica dominante, que asigna mayor importancia a aspectos utilitarios relacionados con el desarrollo económico que al conocimiento y conservación de la biodiversidad; así como a la preferencia por estudiar organismos conspicuos (plantas vasculares y vertebrados). No obstante, durante la segunda mitad del siglo pasado se ha manifestado un interés creciente por el estudio del fitoplancton, dada la importancia que tiene como primer eslabón en la cadena trófica, productor de oxígeno, depurador de sustancias contaminantes y como bioindicador, entre otras propiedades (Palmer 1962; Prescott 1973; Wetzel 1981; Margalef 1983; Reynolds 1986; Streble y Krauter 1987; González 1992).

Los estudios limnológicos en México son numerosos y abordan aspectos diversos de florística, taxonomía y ecología (Ortega 1987; Ortega y Godínez 1994; Tavera-Sierra *et al.* 1994; Parra y Bicudo 1996; Tavera 1996; Valadéz *et al.* 1996; Banderas 1997; Ibarra y Novelo 1997; Alcocer *et al.* 1998; Novelo 1998). Otros estudios refieren a la formación de florecimientos algales y a su toxicidad, principalmente la originada por algas azul-verde (cianobacterias) (Mennes y Stanier 1968; Compère 1974; Lacoste *et al.* 1987; Anand 1988; Carmichael 1994; Watanabe y Komárek 1994; Komárková y Tavera 1996; Guzmán *et al.* 2000).

Las investigaciones biológicas del lago de Chapala, aun las de carácter general son todavía escasas (Lind y Dávalos 1991; Guzmán y Merino 1992; Lind *et al.* 1992; Guzmán 1995; Philips *et al.* 1995); más escasas son las que contemplan particularidades

¹ Mora-Navarro, M. R., J. A. Vázquez-García y Y. L. Vargas Rodríguez. 2004. Ordenación de comunidades de fitoplancton en el lago de Chapala, Jalisco-Michoacán, México. Hidrobiológica (en prensa).

de su fitoplancton (Núñez y Reyes 1995; Mora y Castro 1999; Mora *et al.* 2000) y ninguna ha aplicado un enfoque multivariado para examinar la organización de comunidades de algas con base en datos de presencia-ausencia de sus especies, con relación a los gradientes físico-químicos. Esta información ayudaría a guiar la toma de decisiones de manejo y de conservación de fitoplancton del lago de Chapala.

En este trabajo se pretende generar hipótesis sobre las variables fisicoquímicas que podrían explicar la composición y organización de las comunidades de fitoplancton en el lago de Chapala.

MATERIAL Y MÉTODO

Área de estudio

El lago de Chapala se ubica en la parte centro-oriental del estado de Jalisco, en el occidente de México, entre los 20° 7'-20° 21' N y los 102° 40' 45"-103° 25' 30" W, y a una altitud de 1,524 m s.n.m. (Estrada *et al.* 1983) (Fig. 1). El lago comprende una superficie de 5,127.43 km², con una profundidad máxima de siete metros y una profundidad media de cuatro metros. El río Lerma es su influente y el río Santiago su efluente. El lago ha tenido variaciones en sus niveles, con sequías importantes en 1950, 1980 y 1985. El 90% de su superficie corresponde al estado de Jalisco y el 10% restante al estado de Michoacán (Estrada *et al.* 1983; García 2001). El lago de Chapala (el más grande de la República Mexicana) constituye la principal fuente de abasto de agua para la zona metropolitana de Guadalajara, influye favorablemente en los regímenes de temperatura y precipitación regional y es una fuente importante de trabajo para los lugareños de la rivera, beneficiados principalmente por la pesca y el turismo.

En el lago de Chapala se ubicaron un total de 16 estaciones aproximadamente equidistantes (Fig. 1). En cada estación se obtuvieron seis muestras en total: tres durante 1996 (septiembre, octubre y diciembre: 1-48), dos durante 1997 (febrero y junio: 49-80), y una muestra durante 1998 (marzo: 81-96); el total de muestras fueron 96. Con un punto de corte de dos desviaciones estándar ninguna de las muestras fue separada como discordante. El criterio utilizado para la selección de los períodos de recolecta fue: a) septiembre de 1996, cuando se inicia la entrada más importante de agua pluvial por el río Lerma, la cual acarrea cargas contaminantes elevadas y sedimentos acumulados

durante la estación estival en la cuenca hidrológica; b) octubre de 1996, aquí se presenta el caudal máximo de entrada de agua de lluvia, hasta 30 m³/segundo; c) diciembre de 1996, se disminuyen significativamente los caudales de entrada al lago de Chapala y se presentan crecimientos masivos de cianobacterias y clorofíceas, con impacto al uso del agua; d) febrero de 1997, cuando las entradas de caudal al lago son muy limitadas y la hidrodinámica del lago depende de condiciones meteorológicas únicamente; e) junio de 1997, período final de la época estival, el lago presenta niveles mínimos de agua con respecto al ciclo anual dadas las extracciones realizadas para agricultura y para uso urbano y f) marzo de 1998, período complementario al de febrero de 1997, de condición similar a este último.

Mediante ordenación sociológica es posible realizar un análisis multivariado que permita reflejar las relaciones entre grupos de muestras con base en su semejanza en composición y en características fisicoquímicas. Es decir, las “diferencias de especies entre dos muestras reflejan sus diferencias ambientales, pero de una manera altamente integrada, la cual incluye diferencias en interacciones bióticas y en eventos históricos” (Beals 1984). Para la recolecta de fitoplancton superficial (1 a 45 cm de profundidad) se utilizó una red de plancton estándar con 45 centímetros de diámetro de boca, un metro de longitud y luz de malla de 50 µm. Se realizaron arrastres circulares durante tres minutos a una velocidad de un nudo, en una embarcación de propela con motor fuera de borda. Las muestras recolectadas se vaciaron en frascos de 100 ml, se fijaron con formalina al 4 % final y acetato de cobre de acuerdo con Schwöerbel (1975), James y Hicks (1978) y King (1980).

La identificación de las especies se realizó con ayuda de claves taxonómicas de fitoplancton (Smith 1950; Prescott 1973, 1978; James y Hicks 1978; Ortega 1984; Bourrelly 1972 y 1985; Krammer y Lange 1986, 1988, 1991; Parra y Bicudo 1996) (Cuadro 1). Las muestras fueron depositadas en la Colección Ficologica IBUG, Instituto de Botánica, Universidad de Guadalajara.

Se determinaron *in situ* algunas variables fisicoquímicas (FQ I): temperatura del agua, pH y oxígeno disuelto con un equipo Hidrolab (Khalsico) y transparencia con disco de Secchi. Se tomaron muestras de agua con una botella Van Dorn de 3 l. Para la determinación de otras variables fisicoquímicas se usaron métodos espectrofotométricos

(FQ II): alcalinidad total, alcalinidad a la fenolftaleína, cloruros, color, dureza cálcica, dureza magnésica, dureza total, fósforo en ortofosfatos, fósforo total, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos disueltos totales y sulfatos. Además, la demanda química de oxígeno y la conductividad eléctrica se determinaron con un equipo Hidrolab (Khalsico). Los parámetros se midieron en superficie y fondo (Schwöerbel 1975; Streble y Krauter 1987; García 2001) (Cuadro 2).

Análisis de datos

La matriz principal consistió en datos de presencia-ausencia de especies, los cuales tienden a mostrar una relación más monotónica con la distancia ambiental que los datos de abundancia (Beals 1984). La matriz principal consistió de 116 especies y 96 muestras (seis muestras en cada una de las 16 estaciones) (Cuadro 1). La matriz secundaria incluyó datos de 20 variables ambientales de cada una de las 96 muestras, correspondientes a las mismas épocas y estaciones.

Mediante análisis multivariado, los datos de composición de fitoplancton y de los factores fisicoquímicos se ordenaron sociológicamente (Beals 1984) y se relacionaron mediante regresiones lineales con las variables ambientales medidas. Se usó la técnica de Bray-Curtis varianza regresión (BC-vr), por ser eficaz para la detección de gradientes ecológicos de alta heterogeneidad y de variada dinámica (Beals 1984; Ludwig y Reynolds 1988; McCune y Beals 1993; McCune y Mefford 1999; McCune y Grace 2002).

La medida de semejanza utilizada fue la distancia Sørensen, la cual se considera una medida robusta de distancia ecológica (Faith *et al.* 1987).

$$S=1-(2w/a+b)$$

Donde S es la distancia Sørensen, a es el número de especies en el sitio A; b es el número de especies en el sitio B; y w es el número de especies compartidas entre los sitios A y B.

RESULTADOS

El fitoplancton encontrado en las 16 estaciones incluyó 116 especies en 56 géneros y 28 familias. Los géneros con más especies incluyeron *Euglena* (8); *Pediastrum* (7); *Closterium* (6) y *Nitzschia* (6). El 31% de las especies se reportan en Ortega y Godínez (1994) con algún índice de saprobiedad; 13 se registraron como oligosaprobias; 16 como beta-mesosaprobias; cinco como alfa mesosaprobias y dos como polisaprobias. Un análisis florístico detallado se presenta en otro trabajo (Mora-Navarro *et al.*, en prep.; capítulo 2). La riqueza de fitoplancton en el lago disminuyó de septiembre de 1996 a marzo de 1998 ($r=-0.525$, $p<0.001$, $GL=94$) (Cuadro 1, Fig. 2).

Ordenación

La ordenación de BC-rv de 96 muestras extrajo un total de varianza acumulada para los tres ejes de 60%. No se reconocieron muestras discordantes (Fig. 3). Para el eje uno, los extremos asignados fueron la muestra 92 y la muestra 12. Este eje explicó el 38 % de la varianza en la matriz de distancia original. Intrínsecamente, sobre este eje la ordenación mostró una marcada discontinuidad, la cual permitió distinguir dos grupos. Extrínsecamente la variación en este eje fue explicada por la concentración de sulfatos ($r=0.751$) e inversamente por la alcalinidad total ($r=-0.635$) (Fig. 4).

El primer grupo se integró por las muestras 80 a 96, las cuales, con excepción de la muestra 80 (recolectada en junio de 1997) corresponden a recolectas realizadas en marzo de 1998. Este grupo incluye especies encontradas en un nivel más bajo de sulfato (28 mg/l en promedio) y de más alcalinidad (405 mg/l de CaCO_3 , en promedio) que el resto de las muestras. Las especies encontradas en el nivel más bajo de sulfato y de más alta alcalinidad incluyen: *Trachelomona hispida* Ehrenberg, *Chlorella vulgaris* Beijerinck y *Aphanocapsa grevillei* (Berk.) Rabenhorst (Fig. 3).

El segundo grupo se integró por las muestras 1 a 79, el cual es un grupo grande y heterogéneo integrado por muestras obtenidas en los cuatro períodos restantes. Este grupo incluye especies encontradas en un nivel relativamente alto de sulfatos (89 mg/l en promedio) y de relativa baja alcalinidad (323 mg/l de CaCO_3 , en promedio). Las especies encontradas en los niveles más altos de sulfatos y más bajos de alcalinidad total incluyen: *Pediastrum duplex* var. *reticulatum* Lagerheim, *Phacus pleuronectes* (O. F.

Müller) Dujardin, *Phormidium fragile* (Menenghinii) Gomont y *Strombomonas costata* Deflander.

Para el eje dos, los extremos asignados fueron la muestra 59 y la muestra 16. Este eje extrajo el 13% de la varianza en la matriz de distancia original. Intrínsecamente, solamente el grupo dos mostró importante variación sobre este eje. En particular sólo hubo una marcada discontinuidad entre el sitio 16 y el resto del grupo dos. Extrínsecamente la variación de este eje fue explicada por la dureza total ($r=-0.602$), y por la dureza debida al calcio ($r=-0.617$), ambas relacionadas entre sí (Fig. 5). Las especies representativas en lugares de dureza total baja (99 mg/l CaCO₃, en promedio) incluyeron: *Diploneis puella* Cleve, *Epithemia* sp., *Eudorina elegans* Ehrenb., *Strombomonas costata* y *Pediastrum duplex* var. *reticulatum*; mientras que las especies representativas en lugares de dureza total alta (288 mg/l de CaCO₃, en promedio,) fueron *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenb., *Synedra acus* Kützing, *Synedra parasitica* (W. Smith.) Hust, *Nitzschia dissipata* (Kützing) Grunow y *Anabaena* aff. *spiroides* (Klebahn) Forschungsber (Fig. 3).

Para el eje tres, los extremos asignados fueron la muestra 85 y la muestra 64. Este eje extrajo el 9% de la varianza en la matriz de distancia original. Intrínsecamente, para el eje tres la variación observada para cada grupo fue mínima. Extrínsecamente, la variación del eje tres no fue explicada por ninguna de las variables medidas.

DISCUSIÓN

Los análisis de ordenación (BC-rv) de fitoplancton en el lago de Chapala correspondientes a los años 1996, 1997 y 1998, sugieren que la concentración de sulfatos y la alcalinidad total explican la mayor parte de variación en la estructura de estas comunidades. Sobre el eje uno, los dos grupos de comunidades además de ser explicados por los sulfatos y por la alcalinidad muestran una correspondencia temporal con los períodos de recolecta (Fig. 2). Aunque la varianza total acumulada extraída por los tres ejes fue importante (60%), el uso del índice de favorabilidad sociológica (Beals smoothing) podría incrementarla notablemente (McCune y Grace 2002), por lo tanto su uso es recomendable en este caso.

La disminución observada en la riqueza de especies al disminuir la concentración de sulfatos puede deberse a que la deficiencia de este compuesto reduce el crecimiento y la fotosíntesis de las algas (Giordano *et al.* 2000) (Fig. 3). El azufre es un macro nutrimento importante, por sus funciones estructurales y enzimáticas y porque es un componente principal de aminoácidos como cistina y metionina y por tanto de proteínas, así como un componente de la coenzima A, la cual interviene en el inicio del ciclo de Krebs (Raven *et al.* 1999).

Las concentraciones de sulfatos en el lago podrían tener su origen en las descargas de aguas domésticas y agrícolas de la zona (Guzmán 1997; Arriaga *et al.* 2002). Los iones sulfatos contribuyen a la salinidad del lago; éstos tienden a formar sales con los metales pesados disueltos en el agua, así, un incremento de los sulfatos presentes en el medio hídrico puede indicar la existencia de un vertido cercano (Guzmán 1997; García 2001). Otro posible origen de los sulfatos es a través de la oxidación de los sulfuros de las capas anóxicas del lago que se mezclan con el agua rica en oxígeno durante el intercambio vertical de agua del otoño (Guzmán 1997), el cual se efectúa por las descargas acuíferas del río Lerma, que son más intensas durante ese período (García 2001). Como respuesta a esta producción de sulfatos, el fitoplancton se incrementa, ya que obtiene la cantidad de sulfato necesaria para su crecimiento y reproducción (Cole 1975; Abalde 1995; Raven *et al.* 1999) (Fig. 2). Las muestras con altas concentraciones de sulfatos se caracterizaron por una flora eutrófica que incluyó especies como *Cyclotella meneghiniana* Kützing y *Synedra ulna*, las cuales se relacionan con episodios de contaminación del agua (Ofarrell 1994), y *Gomphonema parvulum* Kützing, que se relaciona con episodios de mayor descarga de metales, después de la estación lluviosa (Monteiro *et al.* 1995). Adicionalmente, *Anabaena* aff. *spiroides*, *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, *Nitzschia amphibia* Grunow (diatomea saprofítica asociada a la contaminación orgánica), *Nitzschia dissipata* y *Pediastrum duplex* var. *reticulatum* se observaron en este grupo de muestras (Brown y Olive 1995; Monteiro *et al.* 1995; Stoyneva 2003).

El aumento de nutrimentos como el nitrógeno y sulfatos en el lago, permiten cambios en la distribución y abundancia del fitoplancton. Estos cambios a su vez modifican las interacciones entre especies, las cuales compiten por recursos y

promueven florecimientos de una o pocas especies (Huszar *et al.* 1998). Además, la dominancia de las especies varía de acuerdo a su capacidad para explotar la misma fuente de nutrimentos, como es el caso de *Pediastrum duplex* var. *reticulatum* y *Anabaena* aff. *spiroides* (Berman y Chava 1999). Estos atributos de la comunidad de fitoplancton están relacionados con su nivel trófico. Con el incremento del nivel trófico, la biomasa de fitoplancton muestra marcadas fluctuaciones estacionales, relacionadas a su vez con variables físicas (Reynolds 1998). Se sugiere en este trabajo, que estas variaciones pueden ser estacionales y cíclicas, y estar correlacionadas con variables como sulfatos, dureza y salinidad.

En este estudio, los datos muestran cómo en el último año (marzo 1998), el nivel de alcalinidad total rebasó los 375 mg/l de CaCO₃, mayor al nivel registrado en los otros cinco períodos de recolecta. Esto corresponde con el más bajo nivel de riqueza de especies observado (11 especies en promedio) (Cuadro 1, Fig. 2). Aunque los datos parciales con que se cuenta a la fecha sugieren una disminución de la riqueza de especies, estos distan de ser representativos y requieren más repeticiones en los mismos períodos y a largo plazo a fin de poder demostrar tal patrón (Fig. 2). La disminución de la riqueza también corresponde con una notoria disminución del nivel de agua del lago durante el semestre de enero a junio de 1998, atribuida, principalmente, al fenómeno de El Niño (Tereshchenko *et al.* 2002), debido a que durante este periodo (1996-1998), la temperatura del aire y la evaporación se incrementaron causando la disminución del nivel del lago observada durante enero a junio de 1998. Esto es, las temperaturas del verano y otoño de 1998 fueron 1.5°C mayores que en 1996. La temperatura superficial del lago en el invierno 1997/1998 fue en promedio 1°C menor que en 1996 (Tereshchenko *et al.* 2002). De manera similar a otros lagos, como el de Coatetelco, Morelos, mostró una tendencia de disminución de fitoplancton a lo largo de las fechas de recolecta, conforme el lago se reducía en profundidad y volumen. Además, sus valores de diversidad en febrero fueron los más bajos observados (Peña *et al.* 2002).

Se sugiere que aunque algunas especies de algas pueden estar adaptadas en su metabolismo a ambientes salinos, o bien pueden tener la capacidad de tolerar pequeños cambios de salinidad, otras especies, sin embargo, pueden ser incapaces de tolerar considerables niveles de salinidad (Raven *et al.* 1999). Un exceso de sales en el lago

puede crear un diferencial osmótico de tal magnitud que podría al menos limitar el éxito relativo de ciertas especies poco tolerantes a la salinidad (Raven *et al.* 1999). El considerable cambio en salinidad, debido en parte a la disminución del nivel del lago y este último relacionado con el fenómeno de El Niño, pudo haber resultado en una comunidad más pobre, como la observada, caracterizada por especies tolerantes a altas concentraciones de salinidad tales como *Trachelomona hispida*, *Chlorella vulgaris* y *Aphanocapsa grevillei* (Tereshchenko *et al.* 2002), especies que contribuyeron al reconocimiento de un grupo distinto del resto. También es consistente con el hecho de que los niveles de mayor salinidad, al igual que las temperaturas altas, reducen la saturación de gases, incluyendo CO₂, indispensable para el desarrollo óptimo del fitoplancton. Pérdidas de CO₂ modifican las condiciones de pH, lo cual selecciona las especies con mayor eficiencia en sus mecanismos de captura de carbono. La concentración de CO₂ y la competencia por el carbono inorgánico disuelto juegan un papel importante en la determinación de la composición de fitoplancton y en la capacidad de las especies en usar bicarbonatos como fuentes de carbono (Huszar *et al.* 1998).

De esta manera, las variaciones en salinidad afectan la disponibilidad de carbono (ya sea como gas disuelto o como carbonatos), lo cual se convierte en uno de los factores limitantes en el crecimiento de fitoplancton y de la acumulación de biomasa. Este factor, puede además estar influenciado por la contaminación ambiental, movimientos del agua y la morfología e hidrología del cuerpo de agua, los cuales en su conjunto controlan la estructura trófica de la comunidad (Huszar *et al.* 1998). Estos mecanismos selectivamente determinan la presencia o ausencia de las especies en un ambiente dado (Reynolds 1998; Naselli y Barone 2000).

La dureza debida al calcio y la dureza total, mostraron en el eje dos de la ordenación un efecto menor que el mostrado por la concentración de sulfatos o que el grado de alcalinidad sobre el eje uno, y explicaron parte de la varianza en composición independiente a los ejes anteriores. La dureza total representa la cantidad de calcio y magnesio que contiene el agua y está ligada al pH, ya que aguas de dureza baja (blandas) suelen ser al mismo tiempo ácidas (pH bajo) y aguas de dureza elevada (duras) son por lo general alcalinas (pH alto). La dureza puede ser temporal o permanente. Por

lo tanto, se espera que el efecto que tienen estas variables sobre el fitoplancton sea el mismo que el mencionado para la alcalinidad total. Además esta concentración de sales puede servir como fuente de suministro importante de los elementos esenciales como Ca y Mg (Raven *et al.* 1999). Una especie comúnmente observada en lugares de mayor dureza total fue *Synedra ulna*, especie co-dominante durante estados tempranos de desarrollo de la comunidad (Monteiro *et al.* 1995; Alam *et al.* 2001; De Fabricius *et al.* 2003).

El hecho de que la varianza extraída por el eje tres, aunque mínima (9.1%), no haya sido explicada por las variables medidas, sugiere que deben medirse otras variables ambientales, esperando que alguna(s) de ella(s) pueda(n) explicarla.

En relación con la permanencia del fitoplancton en el cuerpo de agua, los resultados sugieren que los niveles bajos de sulfatos y los niveles altos de alcalinidad podrían ser desfavorables para la mayor parte de fitoplancton, principalmente a través de disminuir su riqueza (aumentando su densidad), de cambiar su composición y de limitar el desarrollo de especies poco tolerantes a la alta salinidad, modificando la dinámica y la productividad, lo cual eventualmente repercute sobre la actividad pesquera en el cuerpo de agua (García 2001).

En conclusión, se generan las hipótesis: a) que las concentraciones de sulfatos y de alcalinidad total son los factores más importantes que determinan el gradiente principal de composición del fitoplancton en el lago de Chapala y b) que la dureza cálcica y la dureza total explican el gradiente secundario de composición de dicho fitoplancton. Más variables fisicoquímicas deben ser incluidas en futuros análisis, en vista de que ninguna de las variables medidas explicó el gradiente terciario de composición. Un enfoque comparativo con estudios como el presente en lagos tropicales similares podría permitirnos demostrar tales hipótesis.

LITERATURA CITADA

- Abalde, J. 1995. Microalgas: cultivo y aplicación. Monografía 26. Universidad de Coruña, La Coruña. 210 pp.
- Alam, M. G. M., N. Jahan, L. Thalib, B. Wei y T. Maekawa. 2001. Effects of environmental factors on the seasonal change of phytoplankton populations in a closed freshwater pond. *Environmental International* 25(5): 363-371.
- Alcocer, J., A. Lugo, M. R. Sánchez y E. Escobar. 1998. Isabela crater-lake: a Mexican insular saline lake. *Hydrobiologia* 381: 1-7.
- Anand, N. 1988. Culture studies and taxonomy of blue-green algae: certain identification problems. *Algological Studies* 50-53: 141-147.
- Arriaga, L., V. Aguilar, C. Aguilar, J. M. Espinoza y L. Gómez. 2002. Evaluación de la biodiversidad y estado de conservación de la cuenca Lerma-Chapala. En: Resúmenes. II Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de Limnología, México, D. F.
- Banderas Tarabay, A. G. 1997. Phycoflora of the tropical high-mountain lake El Sol, central Mexico, and some biogeographical relationships. *Hydrobiologia* 354: 17-40.
- Beals, E. W. 1984. Bray Curtis ordination. An effective strategy for analysis of multivariate ecological data. *Advances in Ecological Research* 14: 1-55.
- Berman, T. y S. Chava. 1999. Algal growth on organic compounds as nitrogen sources. *Journal of Plankton Research* 21(8): 1423-1437.
- Bourrelly, P. 1972. Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. T 1. Les algues vertes. Éditions N. Boubée & Cie, Paris. 572 pp.
- Bourrelly, P. 1985. Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. T 3. Les algues bleues et rouges. Les eugléniens, peridiniens et cryptomonadines. Éditions N. Boubée & Cie, Paris. 606 pp.
- Brown, B. J. y J. H. Olive. 1995. Diatom communities in the Cuyahoga river (USA). Changes in species composition between 1974 and 1992 following renovations in waste-water management. *Ohio Journal of Science* 95(3): 254-260.
- Carmichael, W. W. 1994. The toxins of Cyanobacteria. *Scientific American* 270(1): 78-86.

- Cole, G. A. 1975. Textbook of Limnology. The C. V. Mosby Company, Saint Louis Missouri. 283 pp.
- Compère, P. 1974. Algues de la région du lac Tchad. Cyanophycés. Hydrobiologia 8(3-4): 165-198.
- De Fabricius, A. L. M., N. Maidana, N. Gómez y S. Sabater. 2003. Distribution patterns of benthic diatoms in a Pampean river exposed to seasonal floods: the Cuarto River (Argentina). Biodiversity and Conservation 12(12): 2443-2454.
- Estrada Faudón E., E. Flores Tritschler J. R. Michel. 1983. Lago de Chapala, investigación actualizada. Instituto de Geografía y Estadística-Instituto de Astronomía y Meteorología, Universidad de Guadalajara, Guadalajara. 67 pp.
- Faith, D. P., P. R. Minchin y L. Belbin. 1987. Compositional dissimilarity as a robust measure of ecological distance. Vegetatio 69: 57-68.
- García Velasco, J. 2001. Estudio de los contaminantes en el proceso de sedimentación en el lago de Chapala, México. Tesis de Doctorado. Universidad de Valencia, Valencia. 120 pp.
- Giordano, M., V. Pezzoni y R. Hell. 2000. Strategies for the allocation of resources under sulfur limitation in the green alga *Dunaliella salina*. Plant Physiology 124(2): 857-864.
- González González, J. 1992. Flora ficológica de México: Concepciones y estrategias para la integración de una flora ficológica nacional. Revista Ciencias 6: 13-33.
- Guzmán Arroyo, M. 1995. La pesca en el lago de Chapala: hacia su ordenamiento y explotación racional. Comisión Nacional del Agua-Universidad de Guadalajara, Guadalajara. 302 pp.
- Guzmán Arroyo, M. 1997. Las aguas superficiales. Diagnóstico. Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Jalisco, Marco Físico. Instituto de Limnología, Universidad de Guadalajara, Guadalajara. 125 pp.
- Guzmán Arroyo, M. y E. Merino Nambo. 1992. El lago de Chapala. Información básica. Instituto de Limnología, Universidad de Guadalajara. Chapala. 13 p.
- Guzmán Arroyo, M., M. R. Mora Navarro, E. G. Robles Jarero y J. G. Michel Parra. 2000. El alga *Anabaena* spp. en el lago de Chapala. Un problema de calidad del

- agua. Pp. 145-155. En: A. Valdez Zepeda, M. Guzmán Arroyo y S. Peniche Camps (eds.). Chapala en crisis. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco.
- Huszar, V. L. M., L. H. S. Silva, P. Domingos, M. Marinho y S. Melo. 1998. Phytoplankton species composition is more sensitive than OECD criteria to the trophic status of three Brazilian tropical lakes. *Hydrobiologia* 369/370: 59-71.
- Ibarra Vázquez, C. y E. Novelo. 1997. Diatomeas de Texcala, Puebla. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 61: 49-57.
- James, A. y P. M. Hicks. 1978. A selected bibliography of plant collection and herbarium curation. *Taxon* 27(1): 63-99.
- King, J. M. 1980. Ecology and distribution of algae: Techniques. *Phycological Seminar - Workshop*. U.S.A.-México. 22 pp.
- Komárkova Legnerová, J. y R. Tavera Sierra. 1996. Cyanoprokaryota (Cyanobacteria) in the phytoplankton of lake Catemaco (Veracruz, Mexico). *Algological Studies* 83: 403-422.
- Krammer, K. y H. Lange Bertalot. 1986. Bacillariophyceae, 1. Naviculaceae. En: Pascher, B. von A., H. von Ettl, J. Gerloff, H. Heyning, y D. Mollenhauer (eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Band 2/1. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 876 pp.
- Krammer, K. y H. Lange Bertalot. 1988. Bacillariophyceae, 2. Epithemiaceae, Surirellaceae. En: Pascher, B. von A., H. von Ettl, J. Gerloff, H. Heyning, y D. Mollenhauer (eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Band 2/2. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 576 pp.
- Krammer, K. y H. Lange Bertalot. 1991. Bacillariophyceae, 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunoticeae. En: Pascher, B. von A., H. von Ettl, J. Gerloff, H. Heyning, y D. Mollenhauer (eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Band 2/3. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 578 pp.
- Lacoste, E. N., M. S. Vigna, S. Mac Carthy y N. I. Maidana. 1987. Algas de aguas continentales de Argentina VII. Entre ríos II. *Darwiniana* 28(1-4): 105-145.
- Lind, O. T. y L. Dávalos Lind. 1991. Association of turbidity and organic carbon with bacterial abundance and cell size in a large, turbid, tropical lake. *Limnology and Oceanography* 36: 1200-1208.

- Lind, O. T., R. Doyle, D. S. Vodopich, B. G. Trotter, J. G. Limón y L. Dávalos Lind. 1992. Clay turbidity: regulation of phytoplankton production in a large, nutrient-rich tropical lake. *Limnology and Oceanography* 37: 549-565.
- Ludwig, J. A. y J. F. Reynolds. 1988. *Statistical ecology*. John Wiley & Sons Inc, Nueva York. 337 pp.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Ed. Omega, Barcelona. 1010 pp.
- McCune, B. y E. Beals. 1993. History of the development of the Bray-Curtis ordination. Pp. 67-79. En: J. S. Fralish, R. P. McIntosh, O. L. Loucks (eds.). *John T. Curtis: Fifty years of Wisconsin plant ecology*. Wisconsin Academy of Sciences Art and letters of Wisconsin, Madison.
- McCune, B. y J. B. Grace. 2002. *Analysis of ecological communities*. MjM Software Design, Glenden Beach, Oregon. 300 pp.
- McCune, B. y M. J. Mefford. 1999. *PC-ORD*. Multivariate analysis of ecological data. Versión 4. MjM Software Design, Glenden Beach, Oregon. 300 pp.
- Mennes, A. M. y R. Y. Stanier. 1968. Selective isolation of blue-green algae from water and soil. *Journal Genetic Microbiology* 51: 203-209.
- Monteiro, M. T., R. Oliveira y C. Vale. 1995. Metal stress on the plankton communities of Sado river (Portugal). *Water Research* 29(2): 695-701.
- Mora Navarro, M. R. y T. Castro Cruz, 1999. El fitoplancton del lago de Chapala. De Vinci 1(1): 39-42.
- Mora Navarro, M. R., M. Guzmán Arroyo y E. G. Robles Jarero. 2000. El alga *Anabaena* sp. en el lago de Chapala. Estudios sobre plancton en México y el Caribe. Pp. 122-123. En: Reunión del X Aniversario de la Sociedad Mexicana de Planctología, A. C., Universidad de Guadalajara, Chapala, Jalisco. 155 pp.
- Naselli Flores, L. y R. Barone. 2000. Phytoplankton dynamics and structure: a comparative analysis in natural and man-made water bodies of different trophic state. *Hydrobiologia* 438: 65-74.
- Novelo Maldonado, E. 1998. *Flora ficológica del Valle de Tehuacán, Puebla*. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, UNAM, México. D. F. 599 p.
- Núñez Márquez, I. G. y M. E. Reyes González, 1995. Contribución al conocimiento del fitoplancton del lago de Chapala, Jalisco, México, durante el período de febrero a

- mayo de 1989, 1990 y 1991. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco. 69 pp.
- Ofarrell, I. 1994. Comparative analysis of the phytoplankton of 15 lowland fluvial systems of the River Plate Basin (Argentina). *Hydrobiologia* 289(1-3): 109-117.
- Ortega, M. M. 1984. Catálogo de algas continentales recientes de México. Instituto de Biología, UNAM, México, D. F. 566 pp.
- Ortega, M. M. 1987. Doce años de ficología en México (1971-1983). Pp. 15-18. En: S. Gómez Aguirre y V. Arenas Fuentes (eds.). *Contribuciones en Hidrobiología*. UNAM, México, D. F.
- Ortega, M. M. y L. Godínez. 1994. *Ficología de México. Algas continentales*. Ed. AGT, México, D. F. 221 pp.
- Palmer, M. 1962. *Algas de abastecimiento de agua*. Departamento de Sanidad, Educación y Bienestar de Estados Unidos. Servicio de Sanidad Pública. Ed. Interamericana, S. A., México, D. F. 91 pp.
- Parra, O. O. y C. E. M. Bicudo. 1996. *Algas de aguas continentales: Introducción a la biología y sistemática*. Ed. Universidad de Concepción, Santiago de Chile. 268 pp.
- Peña Mendoza, B., J. L. Gómez Márquez, I. H. Salgado Ugarte y J. L. Arredondo Figueroa. 2002. Variación temporal del fitoplancton en el lago Coatetelco, Morelos. En: *Resúmenes. II Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de Limnología*, México, D. F.
- Philips, E. J., F. J. Aldridge, C. L. Schelske y T. L. Crisman. 1995. Relationships between light availability, chlorophyll a, and tripton in a large, shallow subtropical lake. *Limnology and Oceanography* 40: 416-421.
- Prescott, G. W. 1973. *Algae of the western Great Lakes area*. WM. C. Brown Company, Dubuque. 977 pp.
- Prescott, G. W. 1978. *How to know the freshwater algae*. WM. C. Brown Company, Dubuque. 293 pp.
- Raven, P., R. F. Evert y S. E. Eichorn. 1999. *Biology of plants*. Company Worth Publishers, Nueva York. 944 pp.
- Reynolds, C. S. 1986. *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge. 384 pp.

- Reynolds, C. S. 1998. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? *Hydrobiologia* 369/370: 11-26.
- Schwöerbel, J. 1975. Métodos de hidrobiología (biología de agua dulce). Hermann Blume Ediciones, Madrid. 237 pp.
- Smith, G. M. 1950. The fresh-water algae of the United States. McGraw-Hill Book Company, Nueva York. 637 pp.
- Stoyneva, M. P. 2003. Steady-state phytoplankton assemblages in shallow Bulgarian wetlands. *Hydrobiologia* 502(1-3): 169-176.
- Streble, H. y D. Krauter. 1987. Atlas de los microorganismos de agua dulce. La vida en una gota de agua. Editorial Omega, Barcelona. 366 pp.
- Tavera Sierra, R., 1996. Phytoplankton of the tropical lake Catemaco. Ph. D. Thesis. Faculty of Biological Sciences, University of South Bohemia, České Budejovice. 108 pp.
- Tavera Sierra, R., J. Elster y P. Marvan. 1994. Diatoms from Papaloapan basin communities, Mexico. *Algological Studies* 74: 35-65.
- Tereshchenko, I., A. Filonov, A. Gallegos, C. Monzón y R. Rodríguez. 2002. El Niño 1996-98 and the hydrometeorological variability of Chapala, a shallow tropical lake in Mexico. *Journal of Hydrology* 264: 133-146.
- Valadéz Cruz, F., J. Carmona Jiménez y E. A. Cantoral Uriza. 1996. Algas de ambientes lóticos en el estado de Morelos, México. *Anales del Instituto de Biología-UNAM, Serie Botánica* 67(2): 227-282.
- Watanabe, M. y J. Komárek. 1994. Several cyanoprocaryotes from Sagarmatha National Park, Nepal Himalayas. *Bulletin of the Natural Science Museum, Tokyo (Ser. B)* 20(1): 1-31.
- Wetzel, R. G. 1981. *Limnología*. Ed. Omega, Barcelona. 679 pp.

Cuadro 1.
Especies de fitoplancton en cada periodo de colecta, abundancia relativa
y riqueza de especies promedio.

Especies	Código	1996	1996	1996	1997	1997	1998
		Sep	Oct	Dic	Feb	Jun	Mar
<i>Achnanthes</i> sp.	ACHNSP		0.06	0.06	0.19		
<i>Amphora ovalis</i> (Ehrenb.) Ehrenb., 1895	AMPHOV				0.19	0.19	
<i>Anabaena</i> aff. <i>affinis</i> Lemmermann	ANAAFF	1.00	0.94				
<i>Anabaena</i> aff. <i>flos-aquae</i> Brébisson & Godey 1886	ANAFLO	1.00	1.00	0.94	0.94	0.94	
<i>Anabaena solitaria</i> (Bronthaler) Komárek, 1903	ANASOL			0.75			
<i>Anabaena</i> aff. <i>spiroides</i> Klebahn, 1895	ANASPI				0.94		
<i>Ankistrodesmus bibraianus</i> (Reinsch) Korshikoff, 1953	ANKBIB	0.19	0.19	0.13			
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs, 1848	ANKFAL	0.31	0.25			0.31	0.31
<i>Ankistrodesmus gracilis</i> (Reinsch) Horchissov, 1953	ANKGRA	0.25	0.19				
<i>Ankistrodesmus spiralis</i> (Turner) Lemmermann, 1908	ANKSPI		0.13	0.06			
<i>Aphanocapsa elachista</i> W. West & G. S. West, 1846	APHELA	0.06			0.06		
<i>Aphanocapsa grevillei</i> (Berk.) Rabenhorst, 1865	APHGRE					0.06	
<i>Aphanocapsa rivularis</i> (Carmichael) Rabenhorst, 1865	APHRIV	0.63	0.06	0.31	0.06	0.13	0.38
<i>Aphanothece nidulans</i> Ritcher, 1884	APHANI	0.31	0.44	0.31	0.75	0.19	1.00
<i>Aphanothece stagnina</i> (K. Sprangel) A. Brawn 1865	APHSTA	0.13	0.13		0.06	0.13	0.06
<i>Astasia dangeardii</i> Lemmermann, 1910	ASTDAN	0.38	0.19			0.19	0.44
<i>Asterococcus limneticus</i> G.M. Smith, 1918	ASTLIM		0.06			0.06	0.06
<i>Aulacoseria granulata</i> var. <i>granulata</i> (Ehrenb.) Simonsen, 1979	AULAGR	0.50	0.38	0.50	0.25	0.31	
<i>Aulacoseria italica</i> (Ehrenb.) Simonsen, 1979	AULAIT	0.94	0.38	0.81	0.19	0.63	0.25
<i>Botriodopsis arhiza</i> Sted, 1889	BOTARH	0.31	0.25		0.06	0.06	0.31
<i>Botryococcus</i> sp.	BOTRSP	0.13	0.31				
<i>Botryosphaerella</i> sp.	BOTPHA	0.25	0.38		0.06	0.06	0.25
<i>Caloneis</i> sp.	CALONS	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
<i>Camylodiscus</i> sp.	CAMPSP	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F. Müller) Dujardin, 1841	CERAER	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<i>Chlamidomona globosa</i> Snow, 1903	CLAMGL	0.19					0.13
<i>Chlamidomona incerta</i> Pascher, 1927	CLAMIN	0.19	0.13	0.06		0.06	0.31
<i>Chlorococcum infusorium</i> (Schränk) Meneghini, 1842	CLORCC	0.31	0.25				
<i>Chlorella miniata</i> (Kützing) Olmanns, 1904	CLORMI	0.19	0.25			0.06	0.13
<i>Chlorella saccharophila</i> Fott et Nováková, 1969	CLORSA	0.06	0.06			0.06	
<i>Chlorella vulgaris</i> (Beijerinck) Nováková, 1890	CLORVU		0.06				0.19
<i>Chrococcus limnetica</i> Lemmermann, 1898	CHRLIM	0.19	0.19	0.19		0.13	0.19
<i>Chrococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli, 1849	CHRTUR	0.50	0.50		0.13	0.13	0.06
<i>Closterium aciculare</i> West, 1860	CLOSAC			0.81	0.63	0.13	1.00
<i>Closterium cetaceum</i> Ehrenb. ex Ralfs, 1848	CLOSSC	1.00	0.50				
<i>Closterium gracile</i> Brébisson ex Ralfs, 1848	CLOSGR			0.19	0.06	0.13	
<i>Closterium lineatum</i> Ehrenb. ex Ralfs, 1848	CLOSLI	0.31	0.38			0.50	1.00
<i>Closterium pronum</i> Brébisson, 1856	CLOSPR	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94
<i>Closterium</i> sp.	CLOSSP	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<i>Coelastrum microporum</i> Nägeli, 1855	COELMI	0.25	0.06				
<i>Coelastrum sphaericum</i> Nägeli ex Kützing, 1849	COELSH			0.13	0.06		
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing, 1844	CYCLME	0.44	0.13		0.13		
<i>Cymbella aspera</i> (Ehrenb.) Cleve, 1894	CYMASP	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
<i>Cymbella cistula</i> (Ehrenb.) Kirschner 1878	CYMBCI	0.25	0.06				

Especies	Código	1996 Sep	1996 Oct	1996 Dic	1997 Feb	1997 Jun	1998 Mar
<i>Cymbella mexicana</i> (Ehrenb.) Cleve, 1894	CYMMEX	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
<i>Cymbella prostrata</i> (Berkeley) Cleve, 1894	CYMPRO		0.06				
<i>Diatoma mesodon</i> (Ehrenb.) Kützing, 1849	TABLSP	0.31	0.06		0.06	0.13	
<i>Diatoma</i> sp.	DIATSP					0.06	
<i>Diploneis puella</i> Cleve, 1894	DIPLPU	0.06					
<i>Ephithemia</i> sp.	EPITSP	0.06					
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenb., 1832	EUDOEL	0.06					
<i>Euglena acus</i> (O. F. Müller) Ehrenb. var. <i>acus</i> , 1830	EUGLAC	0.69	0.38	0.81	0.50	0.50	
<i>Euglena acus</i> var. <i>longissima</i> Deflandre, 1924	EUGLLG	0.38	0.13			0.50	
<i>Euglena ehrenbergi</i> Klebs, 1883	EUGLEH					0.25	
<i>Euglena gracilis</i> Klebs, 1883	EUGLGA					0.25	
<i>Euglena granulata</i> (Klebs) Schmitz, 1884	EUGLGR	0.25					
<i>Euglena guntherii</i> Gojdics, 1953	EUGLGU		0.19				
<i>Euglena limnophylla</i> var. <i>sulcata</i> (Lemmermann) Ortega, 1960	EUGLLI	0.44	0.19				
<i>Euglena</i> sp.	EUGLSP	1.00	0.63				
<i>Fragillaria construens</i> Lingbye, 1819	FRAGCO		0.06	0.06	0.13		
<i>Fragillaria virescens</i> Ralfs, 1843	FRAGCI	0.13	0.06				
<i>Fragillaria</i> sp.	FRAGSP	0.25	0.06				
<i>Gleocapsa aeruginosa</i> (Carmichael) Kützing, 1843	GLEOAE			0.19			
<i>Gleocystis ampla</i> (Kützing) Rabenhorst, 1863	GLEOCA	0.19					
<i>Gleocapsa</i> sp.	GLEOSP	0.31	0.25				
<i>Golenkinia radiata</i> (Chodat) Wille.	GOLERA		0.06				
<i>Gomphonema angustatum</i> var. <i>productum</i> Grunow, 1880	GOMPHA		0.13				
<i>Gomphonema parvulum</i> Kützing, 1849	GOMPHP	0.06	0.19				
<i>Gomphonema ventricosa</i> Grunow, 1856	GOMPHV	0.25	0.19				
<i>Haematococcus pluvialis</i> Flotow, 1844	HEMAPL		0.06				
<i>Lyngbya</i> sp.	LYNGSP	0.13					
<i>Mallomonas caudata</i> Iwanoff, 1899	MALLCA		0.13				
* <i>Mallomonas producta</i> (Zacharias) Iwanoff, 1899	MALLPR		0.13				
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing, 1846	MICAER	1.00	0.94	1.00	1.00	0.88	
<i>Microcystis flos-aquae</i> (Lemmermann) Ralfs, 1850	MICFLS	1.00	0.94	1.00	1.00	0.88	
<i>Navicula cuspidata</i> (Kützing) Kützing, 1844	NAVCUS					0.13	
<i>Navicula gracilis</i> Ehrenb., 1831	NAVGRA					0.19	
<i>Navicula radiosa</i> Kützing, 1844	NAVRED	0.13					
<i>Navicula</i> sp.	NAVISP	0.25	0.06				
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W. Smith, 1853	NITZAC				0.19	0.19	
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow, 1862	NITZAM				0.13	0.13	
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Grunow, 1862	NITZDI				0.19	0.13	
<i>Nitzschia linearis</i> (C. Agardh) W. Smith, 1853	NITZLI	0.13					
<i>Nitzschia longissima</i> var. <i>longissima</i> (Brébisson) Grunow, 1862	NITZLO	0.31	0.19				
<i>Nitzschia longissima</i> var. <i>reversa</i> (Brébisson) Grunow, 1862	NITZRE	0.19	0.19				
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat, 1897	OOCYLA		0.25				
<i>Oocystis solitaria</i> Wittrock, 1879	OOCYSO	0.06	0.06	0.06		0.06	

Especies	Código	1996 Sep	1996 Oct	1996 Dic	1997 Feb	1997 Jun	1998 Mar
<i>Oocystis</i> sp.	OOCYSP	0.31	0.38				
<i>Pandorina</i> sp.	PANDSP	0.06					
<i>Pediastrum boriyanum</i> (Turpin) Meneghini, 1842	PEDBOR	0.38	0.25		1.00		
<i>Pediastrum duplex</i> var. <i>clathratum</i> (A. Braun) Lagerheim, 1882	PEDDCL			0.06			
<i>Pediastrum duplex</i> var. <i>duplex</i> Meyen, 1829	PEDDUP	1.00	0.56		1.00	0.88	
<i>Pediastrum duplex</i> var. <i>reticulatum</i> Lagerheim, 1882	PEDDRE	0.19	0.06				
<i>Pediastrum simplex</i> var. <i>duodenarium</i> (Bailey) Rabenhorst, 1868	PEDSDU	0.19	0.06		0.06		
<i>Pediastrum simplex</i> var. <i>radians</i> Lemmermann, 1899	PEDSRA	0.38	0.13				
<i>Pediastrum simplex</i> var. <i>simplex</i> Meyen, 1829	PEDSSI			0.13	0.25		
<i>Phacus acuminatus</i> (Prescott) Stokes, 1883	PHACAC	0.13					
<i>Phacus longicaudus</i> (Dujardin) Ehrenb., 1841	PHACLO	0.19		0.25			
<i>Phacus pleuronectes</i> (O. F. Müller) Dujardin, 1925	PHACPL	0.38					
<i>Phormidium fragile</i> (Meneghini) Gomont, 1892	PHORFR	0.06					
<i>Pinnularia</i> sp.	PINNSP						
<i>Planctonema lauterbornii</i> Schilde, 1903	PLANLA	1.00	0.94	1.00	1.00	1.00	0.13
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerheim) Chodat, 1903	SCENAC			0.13			0.19
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson, 1835	SCENQU	0.44					0.25
<i>Scenedesmus</i> sp.	SCENSP	0.19					0.06
<i>Scytonema hofmannii</i> Agardh ex Bonnet et Flahult, 1887	SCYTHO			0.06			
<i>Staurastrum longiradiatum</i> West, 1896	STAULO	0.88	0.94	0.75	0.88	0.81	0.13
<i>Stephanodiscus niagre</i> (Herenberg) Fricke, 1901	STEPNI	0.06				0.06	
<i>Strombomonas costata</i> Deflander, 1930	STROMB	0.06					
<i>Surirella capronii</i> Bréb, 1883	SURICA	0.06	0.06				
<i>Surirella nervosa</i> (A. Schmidt) Mayer, 1913	SURINE	0.13	0.06				
<i>Surirella spiralis</i> Kützing, 1844	SURISP	0.13	0.06				
<i>Synedra acus</i> Kützing, 1844	SYNEAC						
<i>Synedra parasitica</i> (W. Smith) Hust, 1930	SYNEPA				0.13		
<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehrenb., 1862	SYNEUL				0.13	0.06	
<i>Trachelomona hispida</i> Ehrenb., 1833	TRAHIS	0.06	0.06			0.13	1.00
Riqueza promedio		27	79	14	16	15	11

Cuadro 2.
 Variables fisico-químicas (valores promedio de 16 estaciones)
 en seis períodos de recolecta en el lago de Chapala.

Variable fisico-química	Unidad	Código	1996 Sep	1996 Oct	1996 Dic	1997 Feb	1997- Jun	1998 Mar
Alcalinidad a la fenolftaleína	mg/l CaCO ₃	ALCFEN	21.3	10.3	47.8	40.9	30.8	36.6
Alcalinidad total	mg/l CaCO ₃	ALCTOT	280.4	295.3	332.4	354.8	355.6	406.9
Cloruros	mg/l	CLORUR	45.6	49.1	52.6	51.8	59.6	61.2
Color	Esc. Pt-Co	COLOR	98.9	172.1	137.4	176.0	242.6	256.3
Conductividad eléctrica	µmhos/cm	CONDUC	629.4	643.3	734.4	778.7	950.3	946.9
Demanda química de oxígeno	mg/l	D.Q.O.	33.8	33.1	31.6	25.0	52.1	48.1
Dureza cálcica	mg/l CaCO ₃	DURCAL	113.5	117.5	135.3	151.4	122.9	111.6
Dureza magnésica	mg/l CaCO ₃	DURMAG	83.1	89.9	99.6	115.1	109.6	108.7
Dureza total	mg/l CaCO ₃	DURTOT	196.6	207.3	234.9	266.5	232.5	220.6
Fósforo de ortofosfatos	mg/l P-PO ₄	FOSFOR	0.3	0.4	0.4	0.3	0.2	0.4
Fósforo total	mg/l P-PO ₄	FOSTOT	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5
Oxígeno disuelto	mg/l	OXIDIS	4.6	4.0	6.3	6.7	7.4	8.1
pH	pH	pH	8.6	8.4	8.8	8.9	8.9	8.7
Sólidos disueltos totales	mg/l	SOLDTO	613.9	606.9	625.8	615.6	673.9	763.9
Sólidos suspendidos	mg/l	SOLSUS	24.3	11.0	18.3	51.9	58.6	49.7
Sólidos totales	mg/l	SOLTOT	638.1	617.9	643.8	667.6	737.5	810.5
Sulfatos	mg/l SO ₄	SULFAT	78.3	83.0	81.7	92.4	109.6	22.8
Temperatura	°C	TEMPER	24.4	21.2	19.6	21.0	24.5	19.3
Turbiedad	UTN	TURBIE	20.9	31.9	25.4	37.3	43.3	49.9
Turbiedad Secchi	cm	TURSEC	27.1	24.7	42.2	38.1	27.5	25.9

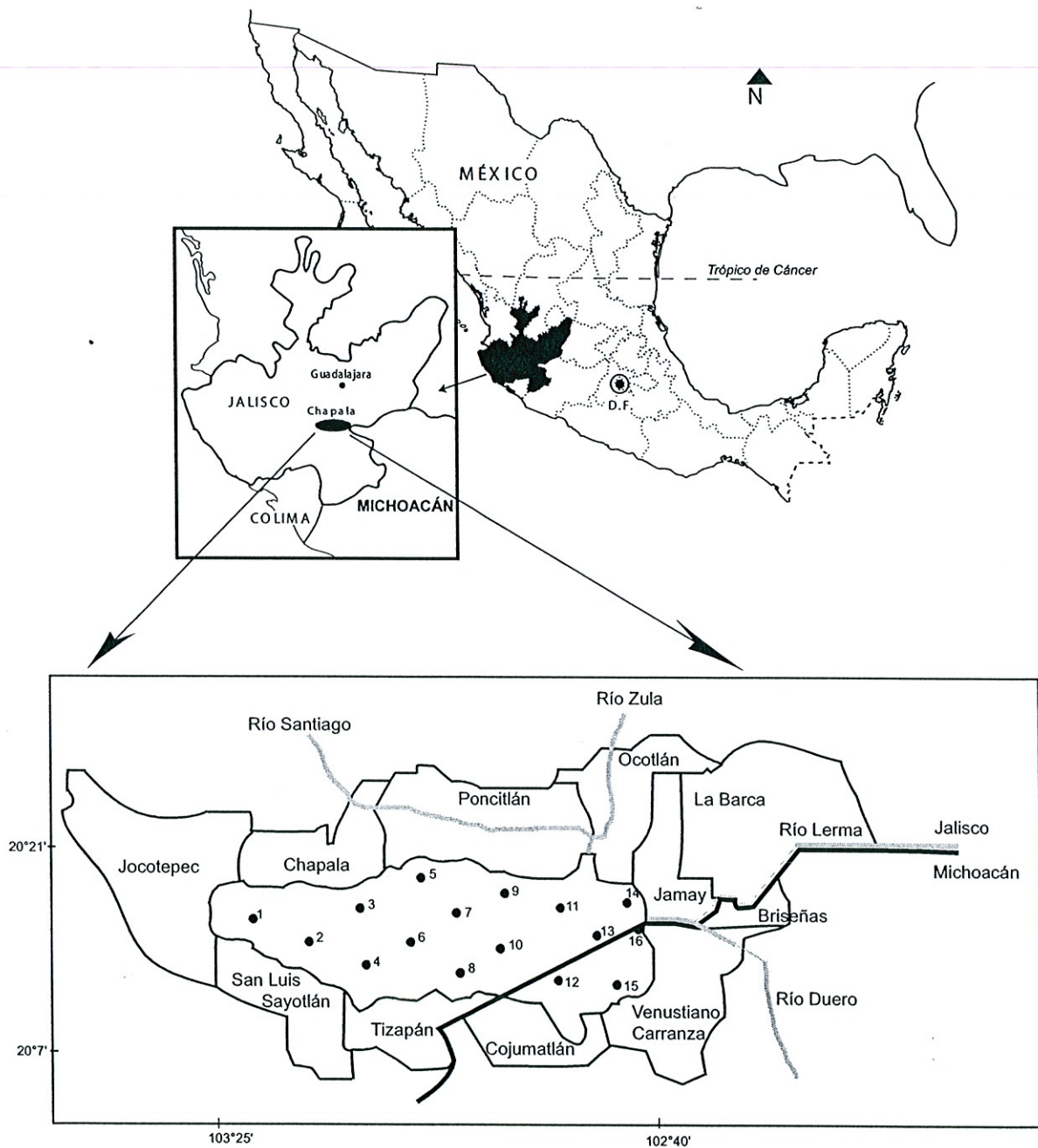


Figura 1. Ubicación del lago de Chapala, Jalisco-Michoacán, México y de 16 estaciones de muestreo (●).

Figura 2.

Patrón de la riqueza del fitoplancton del lago del Chapala por fechas de recolecta ($r=-0.525$, $p<0.001$, $GL=94$), con base en datos disponibles de seis períodos de recolecta (1= septiembre de 1996, 2=octubre de 1996, 3=diciembre de 1996, 4=febrero de 1997, 5=junio de 1997, y 6=marzo de 1998).

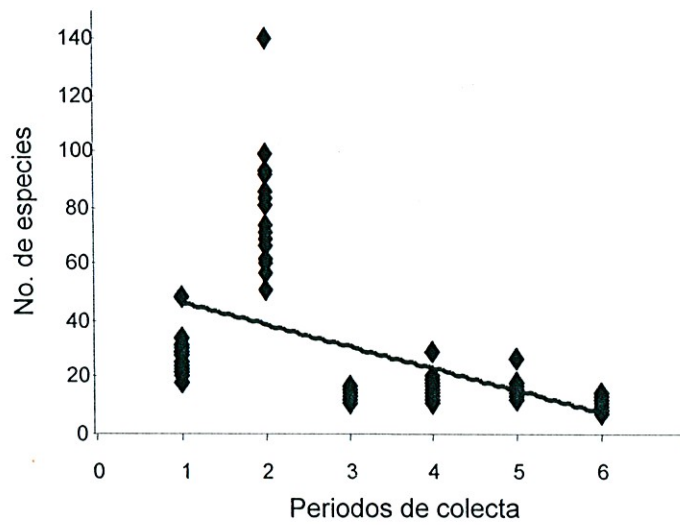


Figura 4.

Ordenación de Bray-Curtis varianza-regresión de comunidades de fitoplancton en el lago de Chapala. El gradiente composicional del eje 1 fue explicado por la concentración de sulfatos ($r=0.751$) y en forma inversa por la alcalinidad total ($r=-0.635$). El tamaño de los triángulos refleja la abundancia de la variable ambiental en cuestión.

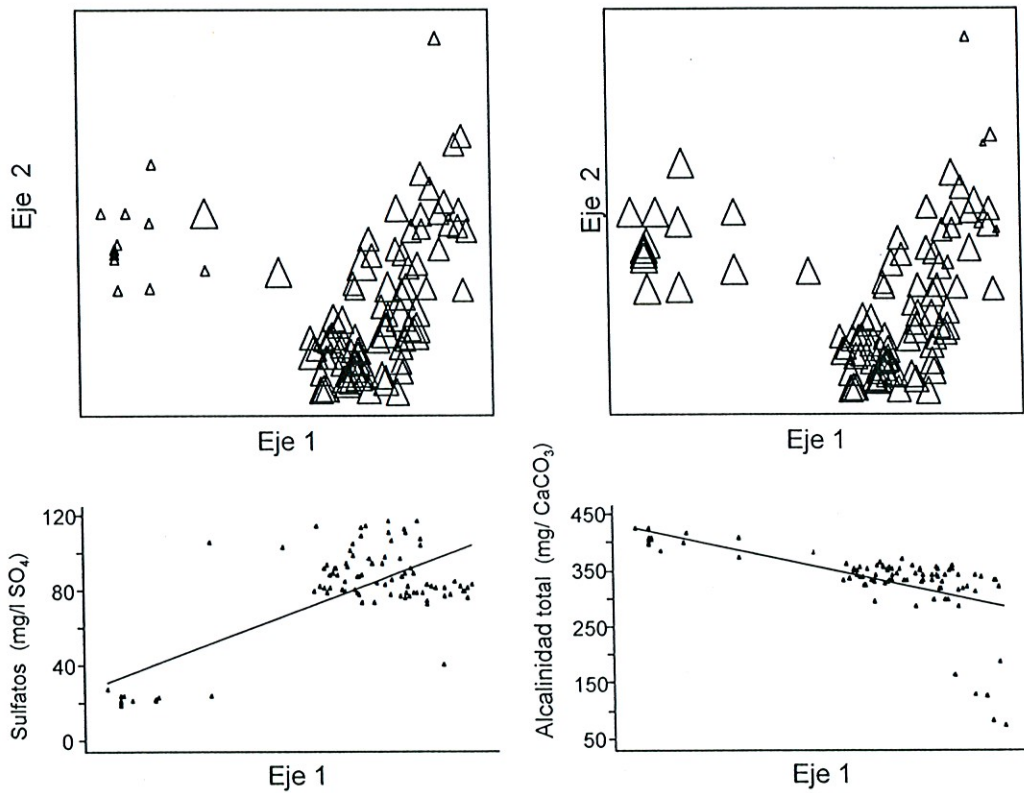


Figura 5.

Ordenación de Bray-Curtis varianza-regresión de comunidades de fitoplancton en el lago de Chapala. El gradiente composicional en el eje 2 fue explicado por la dureza cálcica ($r=-0.617$) y por la dureza total ($r=-0.602$); el tamaño de los triángulos refleja la abundancia de la variable ambiental en cuestión.

