



Biodiversidad del fitoplancton de aguas continentales en México

Biodiversity of inland water phytoplankton in Mexico

María Guadalupe Oliva-Martínez^{1✉}, José Luis Godínez-Ortega² y Catriona Andrea Zuñiga-Ramos¹

¹Facultad de Estudios Superiores-Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. de los Barrios no. 1, Los Reyes Iztacala, 54090 Tlalnepanitla, Estado de México, México.

²Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Cd. Universitaria, 70-233, 04510 México, D. F., México.

✉ oliva@unam.mx

Resumen. El fitoplancton de aguas continentales está representado por 15 000 especies en el mundo. En México se registraron 1 025 especies, casi el 6.8% de las algas continentales a nivel mundial y el 33.8% de las algas continentales de México. Estuvo representado principalmente por las clases Bacillariophyceae (31.9%), Cyanophyceae (18.24%) y Chlorophyceae (17.4%). La mayoría de las especies son cosmopolitas, otras tienen afinidades tropicales y neárticas. Las regiones central y S-SE son las mejor representadas (> 100), no así la región N-NE con pocas taxa (< 2). Ocho estados del norte y 4 del S-SE permanecen sin estudios o registros. En México el descubrimiento de nuevas especies fue realizado por europeos y americanos, los científicos mexicanos comenzaron a describir especies en 1933, pero es hasta finales del siglo XX y principios del XXI que se describen un mayor número. La falta del conocimiento de las algas fitoplanctónicas de México, el bajo nivel de endemismo y la perturbación de los ambientes acuáticos ponen en riesgo la sobrevivencia de esta importante comunidad. Diversas especies fitoplanctónicas han sido utilizadas como suplementos alimenticios, antioxidantes, o para bio-remediación y biocombustibles; sin embargo, su producción en México es aún muy limitada.

Palabras clave: microalgas, fitoplancton, composición taxonómica, distribución, hábitats.

Abstract. Inland water phytoplankton is represented by 15 000 species worldwide, 1 025 of which are found in Mexico, almost 6.8% of all continental algae, and 33.8% of Mexico's continental algae. Mexican algae belong mainly to the classes Bacillariophyceae (31.9%), Cyanophyceae (18.24%) and Chlorophyceae (17.4%). Most species are cosmopolitan; others have tropical and nearctic affinities. The best represented species are found in the central and S-SE regions of the country (> 100). Few taxa are found in the N and NE regions (< 2). There are no studies or records from 8 northern and 4 central and S-SE states. The discovery of new species in Mexico was made by Europeans and Americans. Mexican scientists started describing species in 1933, but it was not until the late 20th and early 21st centuries that a larger number of species was described. The survival of this important community in Mexico is threatened by the absence of information on phytoplanktonic algae, a low level of endemism, and the pollution of aquatic environments. Different phytoplankton species have been used as food supplements, antioxidants, for bioremediation and biofuels, but production in Mexico is still very limited.

Key words: microalgae, phytoplankton, taxonomic composition, distribution, habitats.

Introducción

El término fitoplancton proviene del griego φυτόν (phyton - planta) y πλαγκτός (planktos - errante). Es una comunidad de organismos microscópicos fotosintetizadores que viven suspendidos en la zona fótica de la columna de agua, algunas especies son heterotróficas por cortos periodos, e.g. dinoflagelados y euglenoideos (Reynolds, 1984; Kilham y Hecky, 1988). El fitoplancton juega un papel muy importante como base de las redes tróficas

y como indicadores de la calidad del agua. De acuerdo con Reynolds (1996) el tamaño de los organismos que componen el fitoplancton es: picoplancton (0.2-2 µm), nanoplancton (2-20 µm), micropalancton (20-200 µm) y mesoplancton (200-2 000 µm). El efecto del tamaño sobre la tasa de sedimentación es una adaptación de las células para permanecer en la zona fótica. Células esféricas o elipsoidales se hunden más lentamente, mientras las formas grandes, elongadas o complejas, reducen esta capacidad. Los dinoflagelados como *Ceratium* mantienen su posición en la columna de agua por su migración activa y por el cambio de la forma y tamaño de sus proyecciones. Las paredes silíceas de las diatomeas pueden resultar pesadas y ser susceptibles

al hundimiento. Algunas cianobacterias y desmicias producen mucílagos extracelulares, lo que les ayuda a su flotabilidad, además de la presencia de vesículas de gas que las mantienen en la columna de agua como en *Anabaena flos-aquae* y *Microcystis aeruginosa* (Wehr, 2003).

Los grupos que representan al fitoplancton continental (Fig. 1) son organismos procarióticos como las Cyanobacteria, éstas presentan clorofila *a*, ficoeritrina, ficocianina, aloficocianina y oscillaxantina; son unicelulares, coloniales o filamentosas con pared de peptidoglucanos, vainas mucilaginosas, vesículas de

gas o aerotopos, cianoficina como sustancia de reserva, potencialmente tóxicas, carecen de sistemas de membranas y flagelos, e.g. *Microcystis*, *Planktothrix* y *Anabaena*. El resto de los grupos son eucarióticos como las Glaucophyta que presentan clorofila *a*, ficobiliproteínas, β -caroteno y xantofilas; almidón como sustancia de reserva; son unicelulares y presentan cianobacterias endosimbiontes, denominadas cianelas en vez de cloroplastos, células desnudas o con pared de celulosa, e.g. *Glaucocystis* y *Cyanophora*. Las Euglenozoa contienen clorofila *a*, *b*, diadinoxantina y neoxantina; son unicelulares, con una

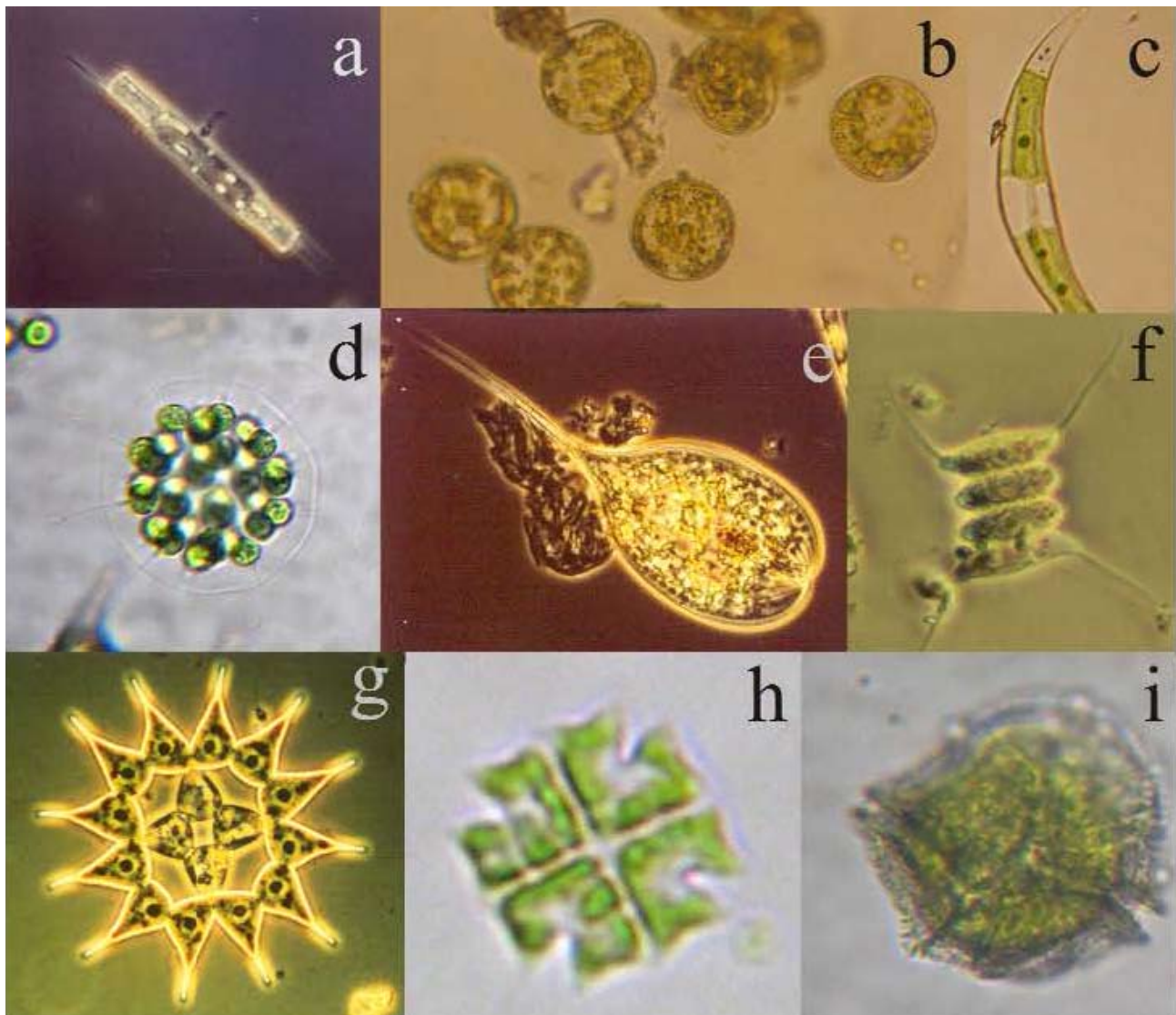


Figura 1. Fitoplancton de ambientes mexicanos. a), *Aulacoseira granulata*, humedales de Jilotepec, Estado de México; b), *Cyclotella alchichicana*, lago Alchichica, Puebla; c), *Closterium acutum*; d), *Eudorina elegans*; e), *Phacus longicauda* y g), *Monactinus simplex*, embalse de Villa Victoria, Estado de México; f), *Desmodesmus protuberans*, lago Tezozomoc, D. F.; h), *Stauridium tetras*; i), *Peridinium cinctum*, Zempoala, Morelos- Estado de México (Fotos M. G. Oliva y J. L. Godínez).

película glicoproteica con estriaciones y en algunos géneros con loriga, paramilon como sustancia de reserva, cloroplastos con 3 membranas, 1 o 2 flagelos con mastigonemas y estigma, mixotróficas, e.g. *Euglena*, *Phacus* y *Trachelomonas*. Las Cryptophyta presentan clorofila *a*, *c*₂, ficocianina y ficoeritrina; son unicelulares, almidón como sustancia de reserva, 2 o más flagelos desiguales, subapicales, cloroplastos con 4 membranas, e.g. *Chroomonas*, *Chilomonas* y *Cryptomonas*. Haptophyta presentan clorofila *a*, *c*₁, *c*₂ y fucoxantina; son unicelulares, ameboides, cocoides y filamentosas; crisolaminarina como sustancia de reserva, 1 o 2 flagelos desiguales con mastigonemas, haptonema, cloroplastos con 4 membranas, pared con escamas silíceas, e.g. *Chrysochromulina*. Los Dinoflagellata presentan clorofila *a*, *c*₁, *c*₂, *c*₃, peridininina, fucoxantina y zeaxantina; son unicelulares; almidón y aceite como sustancias de reserva, flagelos desiguales, cloroplastos con 3 o 4 membranas, mixotróficos y potencialmente tóxicos, pared firme o formada por placas, e.g. *Peridinium* y *Ceratium*. Las Ochrophyta incluyen las clases Bacillariophyceae, Chrysophyceae, Raphidophyceae, Eustigmatophyceae y Xanthophyceae, presentan clorofila *a*, *c*₁, *c*₂, *c*₃, fucoxantina, violaxantina, diadinoxantina, diatoxantina; son unicelulares, filamentosas, coloniales con pared celular de sílice, leucocina; con crisolaminarina como sustancias de reserva, sus cloroplastos con 4 membranas y flagelos desiguales, e.g. *Dinobryon*, *Synura* y *Cyclotella*. Las Chlorophyta con 3 clases: Prasinophyceae, Trebouxiophyceae y Chlorophyceae, presentan clorofila *a*, *b*; α , β , γ -carotenos, varias xantofilas; son unicelulares, coloniales y filamentosas, contienen almidón (amilosa y amilopectina) y aceite como sustancias de reserva, pared celular de celulosa o ausente, cloroplastos con 2 membranas, 1, 2-8 o más flagelos iguales y apicales, e.g. *Chlamydomonas*, *Scenedesmus*, *Desmodesmus* y *Monoraphidium*. Las Charophyta con las clases Klebsormidiophyceae, Zygnematophyceae y Mesostigmatophyceae, presentan clorofila *a*, *b*; α , β , γ -carotenos, varias xantofilas; son unicelulares y filamentosas con tilacoides variablemente asociados, uno o varios pirenoides, 2 flagelos generalmente apicales, almidón parecido al de las plantas terrestres, pared celular compuesta por celulosa, e.g. *Closterium*, *Staurastrum* y *Klebsormidium*.

Hábitat. El fitoplancton de aguas continentales se desarrolla en ambientes lénticos que incluyen aguas estancadas como lagos, lagunas y embalses; en ambientes lóticos de agua corriente unidireccional, como los manantiales, ríos, arroyos, cascadas y canales (Fig. 2). Las condiciones ambientales en los lagos y ríos varían por su tamaño, profundidad, temperatura, luz, transparencia, oxígeno, nutrientes, pH y salinidad. Los ecólogos utilizan el término

“aguas interiores” para abarcar la variedad de intervalos en los sistemas acuáticos continentales (Wehr, 2003). La salinidad de estos ambientes generalmente no rebasa de 3-4‰; sin embargo, existen variaciones amplias en la composición química de los hábitats de aguas interiores, tal es el caso del lago cráter Alchichica con una salinidad de 8.5‰ (Oliva et al., 2009). El fitoplancton generalmente presenta un ciclo anual previsible, aunque algunas especies, como las cianobacterias, pueden proliferar excesivamente y formar “florecimientos”, los cuales llegan a ser potencialmente tóxicos y proporcionar al agua olor y sabor desagradable (Vaultot, 2006).

Ciclos de vida. Los ciclos de vida de las algas fitoplanctónicas son cortos e incluyen la formación de esporas de resistencia, con las cuales sobreviven durante periodos desfavorables y como una forma de conservar su diversidad genética, incluye procesos asexuales y sexuales, se define por el sitio donde ocurre la meiosis durante la reproducción sexual. En el ciclo cigótico (H, h) la meiosis sucede después de la germinación del cigoto, sus productos son haploides (h) y sólo el cigoto es diploide (d), este ciclo se presenta en la mayoría de los grupos fitoplanctónicos. En el ciclo gamético (H, d) la meiosis ocurre durante la diferenciación de los gametos (n) por lo que el organismo de vida libre es diploide, éste se presenta principalmente en las diatomeas (Bold y Wynne, 1985).

Las obras de revisión que incluyen algas fitoplanctónicas de México son: Ortega (1984), Tavera y Komárek (1996), Tavera et al. (2000), Moreno (2005), Novelo et al. (2007), Garduño et al. (2009) y Novelo (2011, 2012).

El presente trabajo tuvo como base inicial la revisión de las especies fitoplanctónicas registradas en la obra de Ortega (1984) del período 1841-1974, a partir de éste se analizaron 55 publicaciones entre 1984-2012 con lo cual se formó una base de datos de 2 183 registros. La base estuvo formada por 16 campos que describen: taxonomía, distribución geográfica, hábitat, nomenclatura y bibliografía. La nomenclatura fue actualizada de acuerdo a Guiry y Guiry (2012). Se recuperó la información para determinar la riqueza florística y la distribución estatal de las especies. Las referencias del periodo 1841-1973 se pueden consultar en Ortega (1984), las de 1974-2002 en Novelo (2003) y las del 2003-2012 se citan directamente en este trabajo. El objetivo del presente estudio es obtener una primera estimación del número de especies fitoplanctónicas de ambientes continentales que se distribuyen en México, así como sus afinidades florísticas.

Diversidad

Riqueza taxonómica. En el cuadro 1 se presenta el registro de los taxa supra e infra genéricos (1 025 especies) del

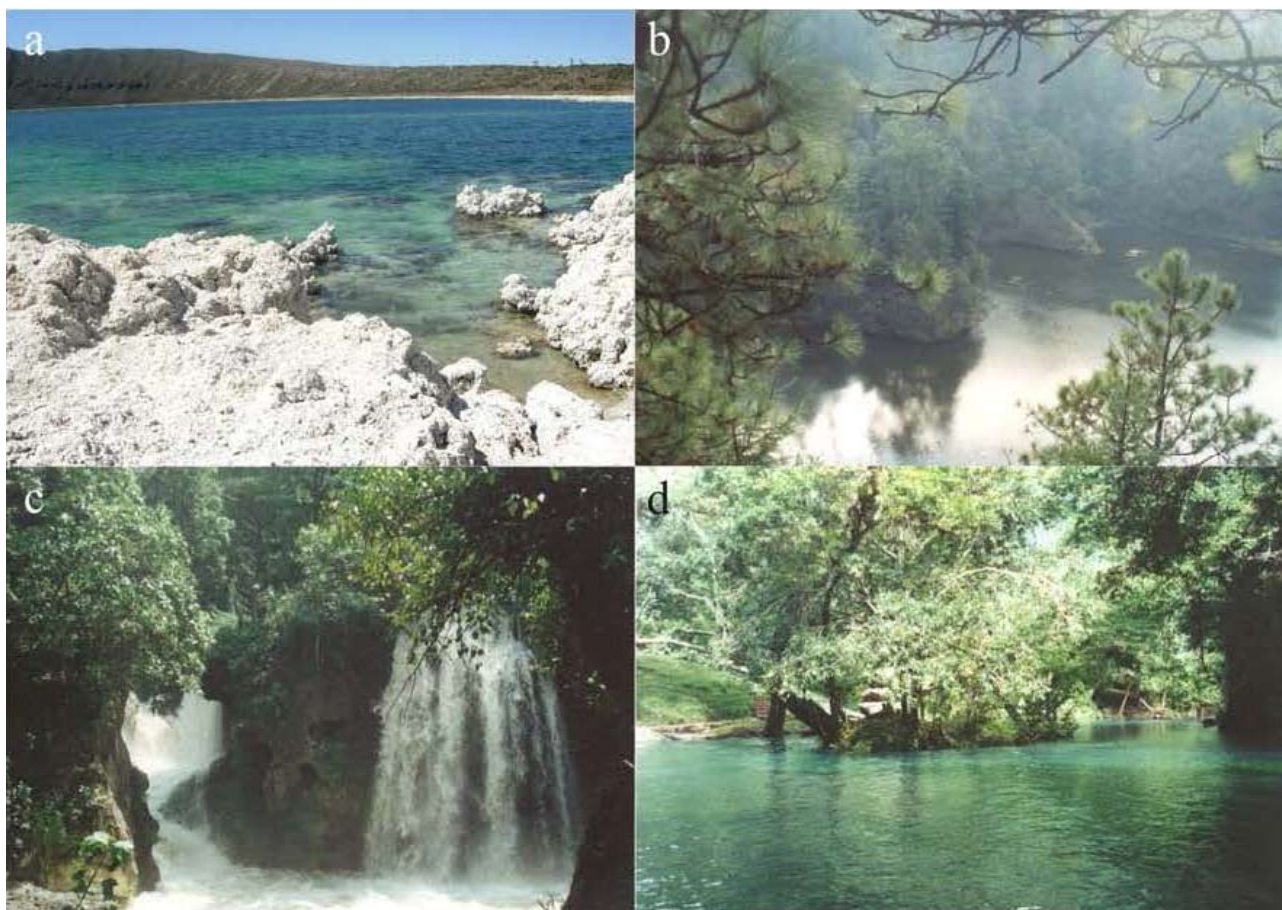


Figura 2. Ambientes lénticos y lóticos de México. a), lago cráter Alchichica, Pue.; b), laguna Prieta, Morelos- Estado de México; c), cascada de Puente de Dios, San Luis Potosí; d), río Huichihuayan, San Luis Potosí (Fotos M. G. Oliva).

fitoplancton continental de México. Aunque el fitoplancton comprende 17 clases el mayor número de especies está concentrado en las Bacillariophyceae con 327 especies (31.9%), las Cyanophyceae con 187 (18.2%), las Chlorophyceae con 179 (17.4%) y las Zygnematophyceae con 105 (10.2%), le siguen las Euglenophyceae con 95 (9.26%), las Trebouxiophyceae con 52 (5.7%), en menor número las Dinophyceae con 28 (2.7%) y las Xanthophyceae con 20 (1.9%). El resto de los grupos muestran escasa representación específica (< 1%) y aparecen en localidades puntuales. Entre los géneros con mayor número de especies (> 20) se encuentran *Closterium* (30), *Cosmarium* (23), *Euglena* (31), *Navicula* (28), *Nitzschia* (28), *Phacus* (21), *Scenedesmus* (30), *Staurastrum* (22) y *Trachelomonas* (22), los cuales son taxa típicamente planctónicos y propios de ecosistemas naturales. Se encontraron 16 géneros con intervalos entre 10-20 especies como *Achnanthes* (10), *Chroococcus* (16), *Cymbella* (16), *Monoraphidium* (12) y con < 10 especies 267 géneros.

El fitoplancton continental de México incluye 1 025 especies, casi el 6.8% de las algas continentales a nivel mundial con 15 000 especies (Bourrelly, 1990). Novelo y Tavera (2011) registran 3 256 especies de algas continentales para México incluyendo las especies subáreas, epipélicas y planctónicas; considerando esos registros se estima que el fitoplancton continental representa el 33.8%; sin embargo, esto puede modificarse dependiendo del grupo taxonómico. Las regiones donde potencialmente se pueden encontrar nuevas especies o registros son las áreas poco exploradas de México y de difícil acceso como el norte del país (Fig. 3).

El estudio de las algas fitoplanctónicas continentales de México se inició en el siglo XIX con las descripciones de las diatomeas y clorofitas que publicó Ehrenberg en 1841, posteriormente otros científicos también contribuyeron al conocimiento de estas algas como Kützing, Grunow, Rabenhorst y Smith. Durante la primera mitad del siglo pasado, Osorio-Tafall, Sámano-Bishop, Sokoloff y Rioja

Cuadro 1. Riqueza ficoflorística del fitoplancton de agua dulce de México*

<i>Phylum</i>	<i>Clase</i>	<i>Orden</i>	<i>Familia</i>	<i>Género</i>	<i>Especie</i>
1-Cyanobacteria	1-Cyanophyceae	5	16	56	187
2-Glaucophyta	2-Glaucophyceae	1	1	1	1
3-Euglenozoa	3-Euglenophyceae	2	6	14	95
4-Cryptophyta	4-Cryptophyceae	2	4	5	8
5-Haptophyta	5-Prymnesiophyceae	1	1	1	1
6-Dinoflagellata	6-Dinophyceae	5	8	11	28
7-Ochrophyta	7-Bacillariophyceae	24	42	85	327
	8-Chrysophyceae	1	3	6	8
	9-Synurophyceae	2	2	3	8
	10-Eustigmatophyceae	1	1	1	1
	11-Xanthophyceae	3	6	7	20
8-Chlorophyta	12-Prasinophyceae	2	2	2	2
	13-Trebouxiophyceae	3	5	26	52
	14-Chlorophyceae	7	23	66	179
9-Charophyta	15-Klebsormidiophyceae	1	1	2	2
	16-Zygnematophyceae	2	3	17	105
	17-Mesostigmatophyceae	1	1	1	1
Total		63	125	304	1 025

*Sistema de clasificación conforme a Graham et al. (2009).

realizaron estudios sobre el fitoplancton y describieron nuevas especies del lago de Pátzcuaro y diferentes localidades del Valle de México (Ortega, 1984). Pérez-Reyes y Salas-Gómez describieron en 1960 especies de euglenoideos, pero es hasta la última década del siglo XX y principios del XXI que se describen un mayor número de taxa para México (Komárek y Novelo, 1994; Komárková-Legnerová y Tavera, 1996; Oliva et al., 2006).

Los ambientes con el mayor número de especies (> 200) son los lagos (412), las lagunas (238) y los ríos (358). Los cuerpos de agua como cenotes, embalses, canales y humedales presentan alrededor de 100 especies y < 50 las aguadas, charcos y ciénegas. Se deduce que en los reservorios de menor tamaño y caudal probablemente se encuentra una ficoflora aún desconocida para México.

Distribución en México y endemismo. Del total de especies planctónicas reportadas para México (1 025) podemos afirmar que la mayoría son de distribución cosmopolita, otras tienen afinidades a regiones tropicales, templadas y neárticas. En la figura 3 se muestra la distribución de especies por estados y regiones. Se observa que la región N-NE (Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Coahuila y Nuevo León) tiene pocas especies (< 2); la zona central es la mejor representada: Michoacán (221), estado de México (317) y el Distrito Federal (184), con < 100 Jalisco, Guanajuato,

Hidalgo, Puebla, Morelos y Tlaxcala; la región S-SE también presenta estados con más de 100 especies como Oaxaca (280), Tabasco (155) y Yucatán (128) y menor de 100 especies como Veracruz (79), Quintana Roo (77) y Chiapas (1). De los 32 estados que conforman México sólo el 62.5% tienen registros de algas fitoplanctónicas y 12 permanecen sin estudios (Baja California, Baja California Sur, Tamaulipas, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Querétaro, Guerrero, Nayarit, Colima y Campeche). La falta del conocimiento de las algas fitoplanctónicas de México, el bajo nivel de endemismo y la perturbación de los ambientes acuáticos ponen en riesgo la sobrevivencia de este importante grupo.

Distintas especies que tienen restringida su distribución han sido tratadas como endémicas, no obstante, existe la posibilidad de que sean encontradas en otras regiones. El grado de endemismo se enmascara por pretender ajustar los nombres de floras europeas a las especies mexicanas, así, hablar de endemismo para el fitoplancton en México es difícil, ya que mientras muchas regiones del país permanezcan desconocidas, más riesgos tenemos de declarar una especie realmente endémica. Los siguientes taxa son nuevas especies descritas a partir de 1993 y no han sido reportadas para otras regiones por lo que probablemente sean endémicas (Novelo y Tavera, 2011):

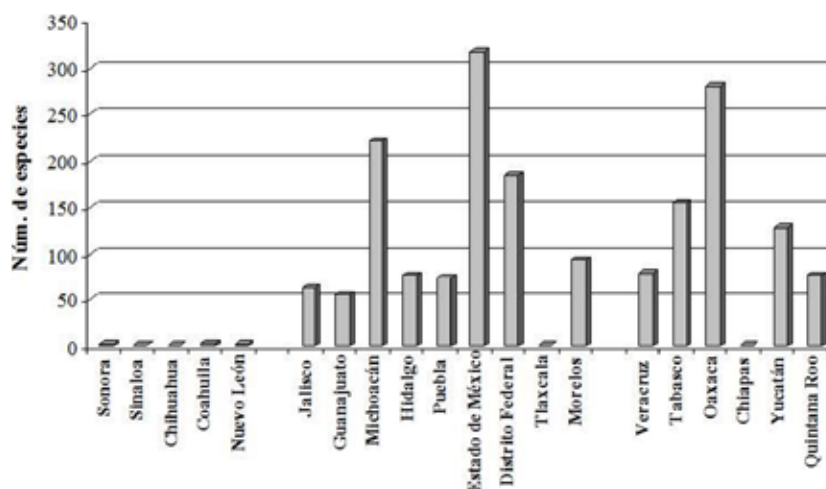


Figura 3. Distribución del fitoplancton dulceacuícola por estados de México (N-NE; Centro; S-SE).

Anabaena fallax, *Aphanothece comasii*, *Cyanobacterium lineatum*, *Cyanotetras aerotopa*, *Cyclotella alchichicana*, *Cylindrospermopsis catemaco*, *C. taverae*, *Chroococcus deltoides* y *Planktolyngbya regularis*.

Las algas fitoplanctónicas tienen importancia en la vida del hombre. Ellas han sido propuestas y utilizadas como suplementos alimenticios, fuente de ácidos grasos tipo omega, antioxidantes, además de ser propuestas para ayudar en la restauración de ecosistemas, la disminución de las emisiones de efecto invernadero y hasta como productoras de biocombustibles. Actualmente en México hay propuestas sobre su aplicación en instituciones de investigación como el Instituto de Biotecnología-UNAM, el CINVESTAV-IPN y otras instituciones de los estados del país. Sin embargo, la producción de microalgas encuentra enormes dificultades para su expansión, ya que los sistemas de producción requieren grandes inversiones y ofrecen una gran inestabilidad.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la UNIBIO del Instituto de Biología, UNAM, su apoyo en el manejo de bases de datos. A los dos evaluadores anónimos por los comentarios y sugerencias.

Literatura citada

Arredondo, J. L., M. O. Vera y L. A. Ortiz. 1984. Análisis de componentes principales y cúmulos, de datos limnológicos, en el lago de Alchichica, Puebla. *Biótica* 9:23-39.
 Arriaga-Cabrera, L., V. Aguilar-Sierra y J. Alcocer-Durand. 2000. Aguas continentales y diversidad biológica de México. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de

la biodiversidad, México, D. F. 327 p.
 Berry, J. P. y L. Owen. 2010. First evidence of “paralytic shellfish toxins” and cylindrospermopsin in a Mexican freshwater system, Lago Catemaco, and apparent bioaccumulation of the toxins in “tegodolo” snails (*Pomacea patula catemacensis*). *Toxicon* 55:930-938.
 Bold, H. C. y M. Wynne. 1985. *Introduction to the Algae: Structure and Reproduction*. 2a. ed., Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey. 720 p.
 Bourrelly, P. 1990. *Les algues d’eau douce. Initiation à la systématique*. Tome I: Les algues vertes. Société Nouvelle des Éditions Boubée, Paris. 572 p.
 Brehm, V. 1942. Plancton del lago de Pátzcuaro. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 3:81-83.
 Cortés-Altamirano, R. 1989. Fitoplancton del lago de Chapala, Jalisco. *Tiempos de Ciencia*. Universidad de Guadalajara 15:51-53.
 Ehrenberg, C. G. 1841. *Verbreitung und Einfluss des mikroskopischen Lebens in Sud-und Nord-Amerika*. *Abhandlungen der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Physik. Kl.* 1841:291-445.
 Findlay, D. y H. Kling. 1999. *Protocols for measuring biodiversity: phytoplankton in freshwater*. Department of Fisheries and Oceans Freshwater Institute. University Crescent, Winnipeg, Manitoba. 19 p.
 García-Rodríguez, J., F. I. Molina-Astudillo, M. Díaz-Vargas y H. Quiroz-Castelán. 2010. Componentes fitoplanctónicos y zoobentónicos en el lago Zempoala, México. *Acta Universitaria*, Universidad de Guanajuato 20:23-30.
 García-Rodríguez, J., F. I. Molina-Astudillo, H. Quiroz-Castelán, P. Trujillo-Jiménez y M. Díaz-Vargas. 2011. Distribución y sistemática del fitoplancton a lo largo del río Amacuzac (Morelos, México). *Acta Universitaria*, Universidad de Guanajuato 21:11-23.
 Garduño-Solórzano, G., M. G. Oliva y M. M. Ortega. 2009. Algas. *In* La diversidad biológica del Estado de México,

- Estudio de estado, G. Ceballos, R. List, G. Garduño, R. López-Cano, M. J. Muñozcano-Quintanar, E. Collado y J. E. San Román (comps.). Gobierno del Estado de México, Toluca. p. 153-162.
- Garduño-Solózano, G., M. C. Rodríguez-Palacios, M. Martínez-García, R. E. Quintanar-Zúñiga, C. Lozano-Ramírez, J. E. Campos-Contreras y A. C. Monsalvo-Reyes. 2011a. Cultivos de microalgas del lago de Catemaco, Veracruz. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal* 2:67-80.
- Garduño, G., M. G. Oliva, A. Lugo, M. B. Mendoza, R. E. Quintanar y V. Conforti. 2011b. *Trachelomonas* (Euglenophyta) from a eutrophic reservoir in Central Mexico. *Journal of Environmental Biology* 32:463-471.
- Gaytán-Herrera, M. L., V. Martínez-Almeida, M. G. Oliva-Martínez, A. Duran-Díaz y P. Ramírez-García. 2011. Temporal variation of phytoplankton from the tropical reservoir Valle de Bravo, Mexico. *Journal of Environmental Biology* 32:117-126.
- Ghosal, S., M. Rogers y A. Wray. 2000. The turbulent life of phytoplankton. Center for Turbulence Research Proceeding of the Summer Program. p. 31-45.
- Graham, L. E., J. M. Graham y L. W. Wilcox. 2009. *Algae*. Pearson Education Inc., San Francisco. 286 p.
- Guiry, M. D. y G. M. Guiry. 2012. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; última consulta: 14.VIII.2012.
- Hernández-Morales, R., M. R. Ortega-Murillo, R. Alvarado-Villanueva, J. D. Sánchez-Heredia y F. Medrano-Zarco. 2008. Variación anual del Fitoplancton en el Lago Cráter La Alberca de Tacámbaro, Michoacán, México. *Revista Biológicas* 10:5-17.
- Hernández-Morales, R., M. R. Ortega, J. D. Sánchez, R. Alvarado y M. S. Aguilera. 2011. Distribución estacional del fitoplancton en un lago cálido monomictico en Michoacán, México. *Revista Biológicas* 13:21-28.
- Kilham, P. y R. E. Hecky. 1988. Comparative ecology of marine and freshwater phytoplankton. *Limnology and Oceanography* 33:776-795.
- Komárková, J. y R. Tavera. 1996. Cyanopokaryota (Cyanobacteria) in the phytoplankton of lake Catemaco (Veracruz, Mexico). *Archives für Hydrobiologies / Supplement band Algological Studies* 83:403-422.
- Komárková, J. y R. Tavera. 2003. Steady state of phytoplankton assemblage in the tropical lake Catemaco (Mexico). *Hydrobiologia* 502:187-196.
- Komárek, J. y J. Komárková. 2002. Contribution to knowledge of planktic cyanopokaryotes from central Mexico. *Preslia*, Praha 74:207-223.
- Komárek, J. y E. Novelo. 1994. Little known tropical *Chroococcus* species (Cyanopokariotes). *Preslia*, Praha 66:1-21.
- López-Adrián, S. J. y R. C. Barrientos-Medina. 2005. Diversidad y distribución del fitoplancton de agua dulce en la Península de Yucatán, México. *Ibugana* 13:3-12.
- Martínez-Almeida, V. y R. Tavera. 2005. A hydrobiological study to interpret the presence of desmids in Lake Zirahuen, Mexico. *Limnologia* 35:61-69.
- 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* 14:91-103.
- Moreno-Ruiz, J. L. 2005. Fitoplancton. *In* Biodiversidad del Estado de Tabasco, J. Bueno, F. Álvarez y S. Santiago (eds.). Instituto de Biología, UNAM-Conabio. México. p. 33-64.
- Moreno-Ruiz, J. L., M. Tapia-García, M. C. González-Macias y M. G. Figueroa-Torres. 2008. Fitoplancton del río Tehuantepec, Oaxaca, México y algunas relaciones biogeográficas. *Revista de Biología Tropical* 56:27-54.
- Moreno-Ruiz, J. L., M. Tapia-García, M. G. Figueroa-Torres y M. C. González-Macias. 2009. Listado florístico comentado de las algas microscópicas del arroyo El Zanjón, Oaxaca. *In* Contribuciones metodológicas al conocimiento de los recursos naturales, L. Ayala-Pérez, R. Gio-Argáes y N. Trigo-Boix (eds.). Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM y Sociedad Mexicana de Historia Natural, México, D. F. p. 13-33.
- Novelo, E. 2003. Bibliografía sobre aguas continentales de México (1974-2002). *In* Contribuciones ficológicas de México, D. Robledo Ramírez, J. L. Godínez Ortega y Y. Freile-Pelegrín (eds.). Sociedad Ficológica de México, A. C., Mérida. p. 63-88.
- Novelo, E. 2011. Cyanopokaryota. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Instituto de Biología, UNAM, México, D. F. Fascículo 90:1-96.
- Novelo, E. 2012. Chlorophyta. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Instituto de Biología, UNAM, México, D. F. Fascículo 94:1-86.
- Novelo, E. y R. Tavera. 2011. Un panorama gráfico de las algas de agua dulce de México. *Hidrobiológica* 21:333-341.
- Novelo, E., R. Tavera y C. Ibarra. 2007. Bacillariophyceae from karstic wetlands in Mexico. *J. Cramer*, Stuttgart. 136 p.
- Oliva, M. G., J. G. Ramírez, G. Garduño, J. Cañetas y M. Ortega. 2005. Caracterización diatomológica en tres cuerpos de agua de los humedales de Jilotepec-Ixtlahuaca, Estado de México. *Hidrobiológica* 15:1-26.
- Oliva, M. G., A. Lugo, J. Alcocer y E. A. Cantoral-Uriza. 2006. *Cyclotella alchichicana* sp. nov. from a saline mexican lake. *Diatom Research* 21:81-89.
- Oliva, M. G., A. Lugo, J. Alcocer y E. A. Cantoral-Uriza. 2008. Morphological study of *Cyclotella choctawhatcheeana* Prasad (Stephanodiscaceae) from a saline Mexican lake. *Saline Systems* 4:17.
- Oliva, M. G., A. Lugo, J. Alcocer, L. Peralta y L. A. Oseguera. 2009. Planktonic bloom-forming *Nodularia* in the saline lake Alchichica, Mexico. *Saline lakes around the world: unique systems with unique values. Natural Resources and Environmental Issues* 15:121-126.
- Olvera-Ramírez, R., C. Centeno-Ramos y F. Martínez-Jerónimo. 2010. Toxic effects of *Pseudanabaena tenuis* (Cyanobacteria) on the cladocerans *Daphnia magna* and *Ceriodaphnia dubia*. *Hidrobiológica* 20:203-212.

- Ortega, M. M. 1984. Catálogo de algas continentales recientes de México. Instituto de Biología UNAM. México, D. F. 565 p.
- Ortega-Murillo, M. R., R. Alvarado-Villanueva, I. Martínez-Sánchez, M. Arredondo-Ojeda y J. D. Sánchez-Heredia. 2007. Estado trófico de la presa la Mintzita, Morelia, Michoacán, con base en la abundancia y distribución del fitoplancton. *Revista Biológicas* 9:105-114.
- Ortega-Murillo, M. R., R. Alvarado-Villanueva, R. Hernández-Morales, J. D. Sánchez-Heredia. 2010. Evolución trófica de un lago tropical hiposalino en México con base al fitoplancton. *Revista Biológicas* 12:75-81.
- Quiroz, C. H. 1999. Abundancia y diversidad del fitoplancton en estanques con policultivo de peces, utilizando fertilizantes orgánicos, inorgánicos y combinados. *Ciencia y Mar* 3:3-12.
- Reynolds, C. S. 1984. *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge. 384 p.
- Reynolds, C. S. 1996. Plant life of the pelagic. *Proceedings of the International Association for Theoretical and Applied Limnology* 26:97-113.
- Rosas, A., R. Velasco, A. Belmont y A. M. Báez. 1993. The algal community as an indicator of the trophic status of lake Patzcuaro, México. *Environmental Pollution* 80:255-264.
- Serna-Hernández, J. y E. López-López. 1996. Una aproximación al fenómeno de sucesión fitoplanctónica del embalse Ignacio Allende, Guanajuato, por métodos multivariados. *Zoología Informa* 32:5-17.
- Tavera, R. y J. Komárek. 1996. Cyanoprokaryotes in the volcanic lake of Alchichica, Puebla State, Mexico. *Archiv für Hydrobiologie/Supplement band Algological Studies* 83: 511-538.
- Tavera, R. y B. Diez. 2009. Multifaceted approach for the analysis of the phototrophic microbial community in a freshwater recreational area of Xochimilco, Mexico. *Hydrobiologia* 636:353-368.
- Tavera, R., E. Novelo y A. Comas. 2000. Chlorococcalean algae (*s. l.*) from the ecological park of Xochimilco, Mexico. *Algological Studies* 100:65-94.
- Valadez, F., G. Oliva, G. Vilaclara, M. Caballero y D. C. Rodríguez. 2005. On the presence of *Stephanodiscus niagarae* Ehrenberg in central Mexico. *Journal of Paleolimnology* 34:147-157.
- Valadez, F., G. Rosiles-González y J. Carmona. 2010. Euglenophytes from Lake Chignahuapan, Mexico. *Cryptogamie Algologie* 31:305-319.
- Vasconcelos, V., A. Martins, M. Vale, A. Antunes, J. Azevedo, M. Welker, O. Lopez y G. Montejano. 2010. First report on the occurrence of microcystins in planktonic cyanobacteria from Central Mexico. *Toxicon* 56:425-431.
- Vaulot, D. 2006. *Phytoplankton*. eLS. John Wiley & Sons Ltd, Chichester. <http://www.els.net> (doi: 10.1038/npg.els.0004306).
- Vázquez, G., S. Jiménez, M. E. Favila y A. Martínez. 2005. Seasonal dynamics of the phytoplankton community and cyanobacterial dominance in a eutrophic crater lake in Los Tuxtlas, Mexico. *Ecoscience* 12:485-493.
- Wher, J. D. 2003. Freshwater habitats of algae. *In* *Freshwater algae of North America. Ecology and classification*, J. D. Wher y R. J. Sheath (eds.). Academic Press, San Diego. p. 11-57.