

## Diversidad algal del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México, excepto diatomeas

## Algal diversity of Zempoala Lagoons National Park, Mexico, except diatoms

José Luis Godínez-Ortega<sup>1</sup>, María Guadalupe Oliva-Martínez<sup>2</sup>, Marco Antonio Escobar-Oliva<sup>2</sup> y Berenit Mendoza-Garfias<sup>1</sup><sup>1</sup>Instituto de Biología, Departamento de Botánica, Universidad Nacional Autónoma de México, Tercer circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria, Ciudad de México, 04510. México<sup>2</sup>Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Unidad de Morfología y Función, UNAM. Av. de los Barrios No. 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, 54090. México  
e-mail: jlgo@unam.mx**Recibido:** 26 de agosto de 2015.**Aceptado:** 28 de octubre de 2016.Godínez-Ortega J. L., M. G. Oliva-Martínez, M. A. Escobar-Oliva y B. Mendoza-Garfias. 2017. Diversidad algal del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México, excepto diatomeas. *Hidrobiológica* 27 (1): 45-58.

## RESUMEN

**Antecedentes.** El Parque Nacional Lagunas de Zempoala (PNLZ) es una zona de transición entre la región Neártica y Neotropical de México con gran riqueza ficoflorística. Los lagos estudiados fueron Zempoala, Compila, Tonatihu, Prieta y el Arroyo las Trancas que confluye hacia el lago de Zempoala. A excepción del Lago Zempoala, los demás son estudiados por primera vez. **Objetivos.** Estudiar la composición ficoflorística actual de los principales ambientes acuáticos del PNLZ. **Métodos.** El muestreo (23) se realizó en marzo y abril de 2011, utilizando una red de arrastre de 20 µm de abertura de malla. Se filtraron 10 L de agua del lugar y se colectaron las algas entreveradas con las plantas acuáticas. Las muestras fueron fijadas con formol al 4%. Se midieron pH, temperatura del agua y conductividad. Las muestras se observaron con microscopio de luz (ML) y electrónico de barrido (MEB). **Resultados.** El pH de los lagos estudiados fue de 7.1-8.8, la temperatura del agua superficial se registró entre 14.2-17°C y la conductividad varió entre 112-124 µS cm<sup>-1</sup>. Se determinaron 55 especies, dominando las Chlorophyceae (13), Cyanophyceae (12), Trebouxiophyceae (9), Euglenophyceae (7) y Zygnematophyceae (6). Algunas cianobacterias frecuentes fueron *Woronichinia* y *Planktolyngbya*. Otras como *Cryptomonas* (Cryptophyta), *Ceratium* y *Peridinium* (Dinoflagellata) resultaron abundantes. Las Chlorophyta abarcaron toda la zona de estudio (*Scenedesmus*, *Eudorina*, *Botryococcus* y *Lagerheimia*). Resaltan *Staurastrum* y *Cosmarium* (Charophyta). Se registraron tres géneros bentónicos *Prasiola*, *Chara* y *Nitella* en el PNLZ. Otras algas verdes crecieron como metafiton y epifitas. El 39.3% de las especies son cosmopolita, otras tienen afinidades tropicales y neárticas. Se determinaron 10 nuevos registros para México. **Conclusiones.** En comparación con otros lagos mexicanos, los estudiados aquí se pueden considerar de alta riqueza y diversidad, particularmente en lo que respecta al fitoplancton. La falta de conocimiento y la perturbación de los ambientes acuáticos continentales, ponen en riesgo la sobrevivencia de la comunidad fitoplanctónica, por lo que es importante la integración de estudios que incluyan diversas áreas de la biología, así como de políticas públicas para su manejo y conservación.

**Palabras clave:** Biodiversidad, fitoplancton, florística, nuevos registros, riqueza específica.

## ABSTRACT

**Background.** The Parque Nacional Lagunas de Zempoala (PNLZ) is located in a transitional zone between the Nearctic and Neotropical regions, and harbors a great phycofloristic diversity. The lakes studied were Zempoala, Compila, Tonatihu and Prieta, and the stream that flows into Zempoala lake. With the exception of Zempoala lake, the others are studied for the first time. **Goals.** To study of phycofloristic composition of aquatic environments of the PNLZ. **Methods.** The samples (23) were collected in March-April 2011, using a towed net of 20 µm. Ten L of water were filtered and algae mixed with aquatic plants were collected. The samples were fixed with 4% formalin. Water temperature pH, and conductivity were measured. Samples were observed under light microscopy (LM) and scanning electron microscopy (SEM). **Results.** The pH of the studied lakes was 7.1-8.8, the surface water temperature was recorded between 14.2-17°C and the conductivity varied between 112-124 µS cm<sup>-1</sup>. Fifty-five species were identified, with a dominance of Chlorophyceae (13), Cyanophyceae (12), Trebouxiophyceae (9), Euglenophyceae (7) and Zygnematophyceae (6). Some common blue-greens were *Woronichinia* and *Planktolyngbya*. Others such as *Cryptomonas* (Cryptophyta), *Ceratium* and *Peridinium* (Dinoflagellata) were abundant. Chlorophyta encompassed the entire study area (*Scenedesmus*, *Eudorina*, *Botryococcus* and *Lagerheimia*). They emphasize *Staurastrum* and *Cosmarium* (Charophyta). Three benthic genera *Prasiola*, *Chara* and *Nitella* were recorded in PNLZ. Other green algae grew as metaphytes and epiphytes. 39.3% of the species are cosmopolitan; others have tropical and nearctic affinities. Ten new registries were determined for Mexico. **Conclusions.** Compared to other Mexican lakes, those studied here can be considered of high richness and diversity, particularly with respect to phytoplankton. The lack of knowledge and the disturbance of the continental aquatic environments, threaten the survival of the phytoplankton community, so it is important to integrate studies that include various areas of biology, as well as public policies for their management and conservation.

**Key words:** Biodiversity, floristic, phytoplankton, new records, species richness.

## INTRODUCCIÓN

El Parque Nacional Lagunas de Zempoala de México (PNLZ), se encuentra limitado por tres cuencas hidrográficas: México, Balsas y Lerma; es una zona de transición de la región Neártica y Neotropical con gran riqueza ficológica. Existen 7 lagos: Zempoala, Prieta o Acoyotongo, Tonatihu, Compila, Acomantla, Quila y Hueyapan y un pequeño manantial nombrado La Joya de Atezcapan que forman parte de la Cuenca del Balsas (Bonilla-Barbosa y Novelo-Retana, 1995; Contreras-McBeath, 1995).

Los primeros ejemplares estudiados en la Laguna Zempoala fueron *Chara braunii* y *Nitella* sp., colectados en 1950 por el botánico norteamericano Norman Carter Fassett (MEXU 405, 406, 435, 1683). Ortega colectó en 1966 *Prasiola mexicana* en el Arroyo las Trancas que desemboca en el lago Zempoala (MEXU 1969) y Albores-Celorio (1969) registró 16 microalgas de los phyla Euglenozoa, Cryptophyta, Dinoflagellata y Chlorophyta. López-Ochoterena y Roure-Cane (1970) determinaron 16 especies en el lago Zempoala. Ortega (1984) publicó su "Catálogo de algas continentales recientes de México" con varios registros de Zempoala. García-Rodríguez y Tavera (1998) estudiaron 26 especies de algas y variables como densidad, distribución espacial y temporal. García-Rodríguez *et al.* (2003, 2010) identificaron 24 especies del lago Tonatihu y reportaron los componentes fitoplanctónicos y zoobentónicos del lago Zempoala.

El lago Zempoala ha sido objeto de varios estudios desde hace más de 50 años, sin embargo, aún permanecen poco explorados los otros lagos que forman parte del PNLZ, por lo que el objetivo del presente trabajo fue estudiar la composición actual de las algas de los principales ambientes acuáticos del Parque Nacional Lagunas de Zempoala. Se presenta información de las formas de vida (plancton, metafiton, bentos y epífitas), de la distribución local, mundial y de algunas variables físicoquímicas del agua.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio.** El Parque Nacional Lagunas de Zempoala es un área natural protegida, ubicada en los Estados de Morelos y México. La vegetación dominante es de bosques de oyamel, pino y encino (Ramírez-Pulido, 1969) con una altitud entre 2850-3550 m.s.n.m. y forma parte de la Faja Volcánica Transmexicana. Actualmente existen 7 lagos: Zempoala, Prieta o Acoyotongo, Tonatihu, Compila, Acomantla, Quila y Hueyapan. Sin embargo Acomantla y Hueyapan se encuentran secos casi todo el año. Los lagos de Zempoala son de origen volcánico y pertenecen a la unidad geológico-estratigráfica de los grupos Zempoala y Chichinautzin. La cuenca del Parque Nacional Lagunas de Zempoala es endorreica con una precipitación anual de 1000-1400 mm, la temporada de lluvias va de junio a septiembre, mientras que la de secas entre octubre y mayo (Atlas Nacional de México, 1990).

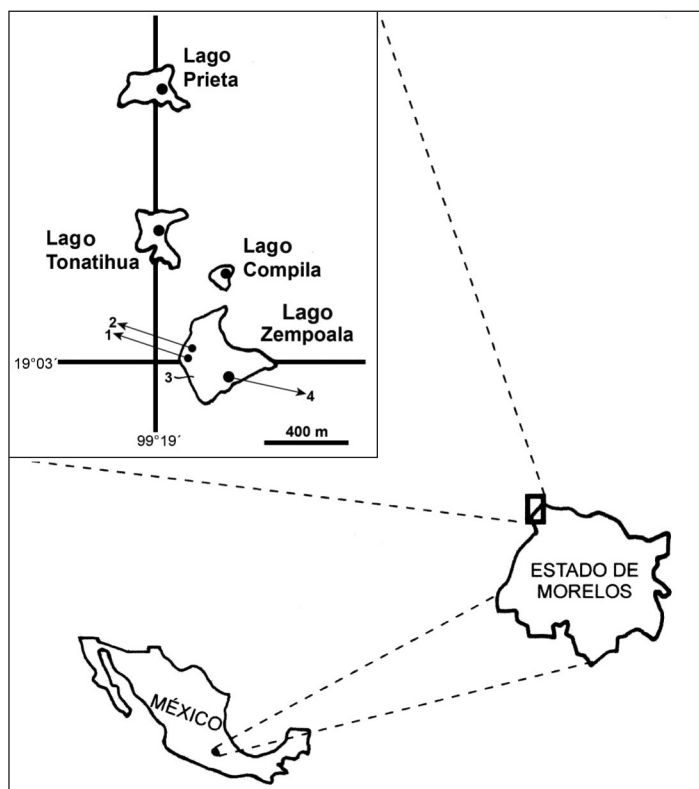
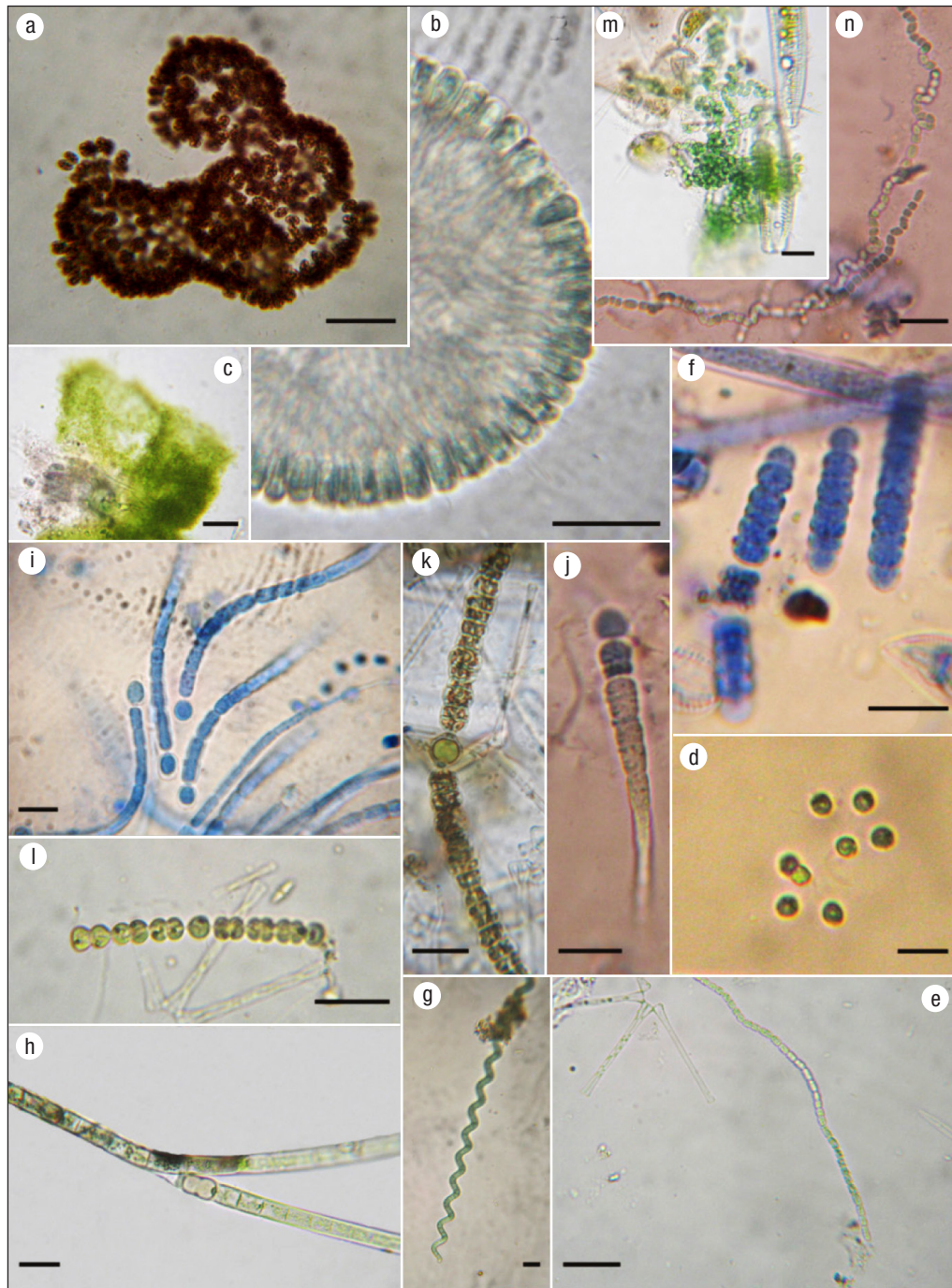


Figura 1. Zona de estudio y ubicación de los sitios de muestreo (1-4) en el Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México (coordenadas de georreferencia de los sitios de colecta en la Tabla 1).



Figuras 2a-n. Cianobacterias del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México (ML). **a-b)** *Woronichinia naegeliana* (Unger) Elenkin. **c)** *Microcystis* sp. **d)** *Chroococcus minimus* (Keissler) Lemmermann. **e)** *Planktolyngbya limnetica* (Lemmermann) J. Komárková-Legnerová et G. Cronberg. **f)** *Borzia trilocularis* Cohn ex Gomont. **g)** *Arthrospira jenneri* Stizenberger ex Gomont. **h)** *Scytonema* sp. **i)** *Rivularia* cf. *borealis* P. G. Richter. **j)** *Rivularia aquatica* De Wildeman. **k)** *Dolichospermum affine* (Lemmermann) Wacklin, L. Hoffmann et Komárek. **l)** *Anabaena* sp. **m-n)** *Nostoc oryzae* (F. E. Fritsch) J. Komárek et K. Anagnostidis. Barras de medida. Figs. d-f = 5 µm. Figs. g-l, n = 10 µm. Figs. b, m = 20 µm. Figs. a-b = 100 µm.

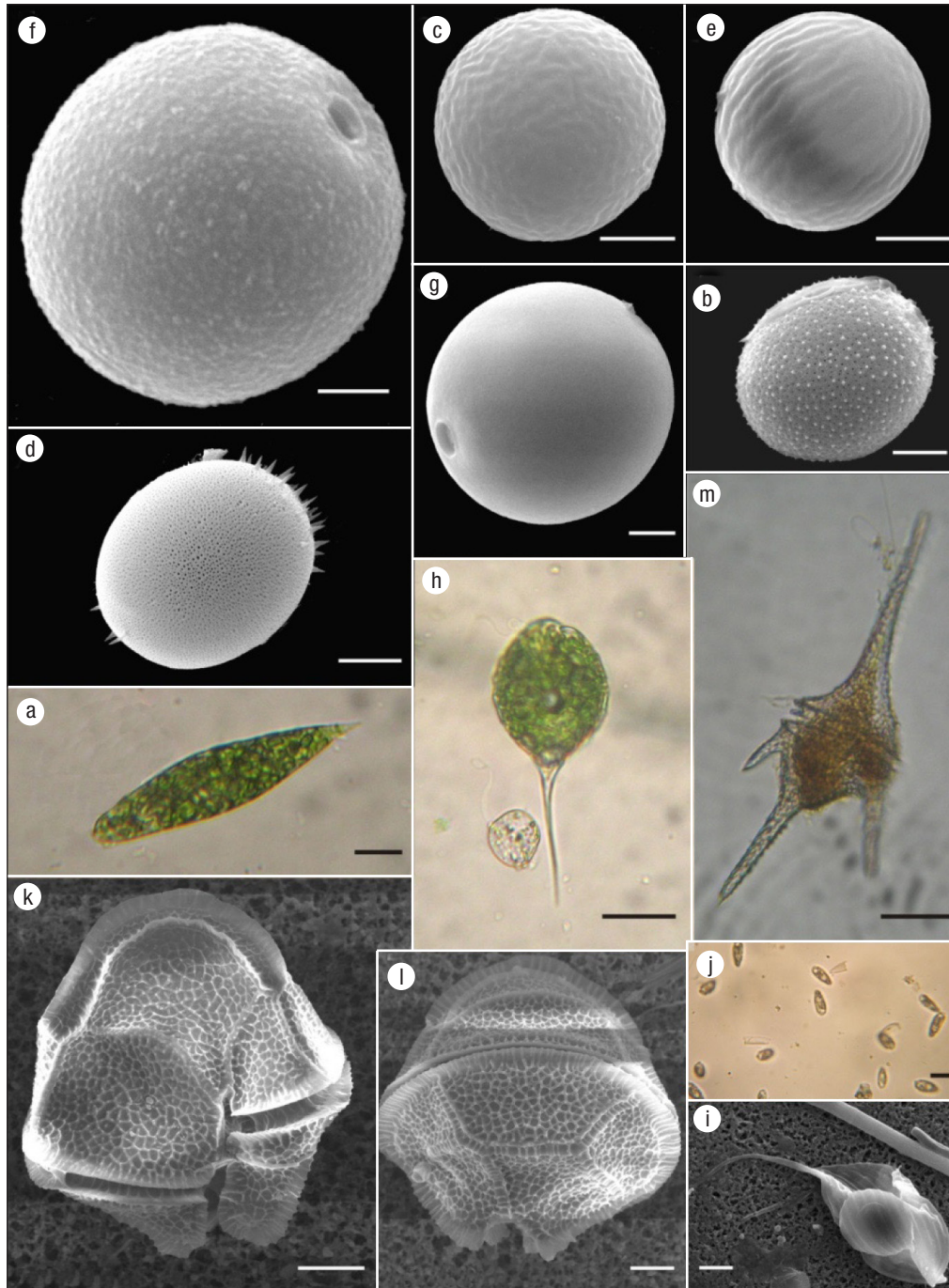
**Muestreo.** Se realizaron 23 muestreos en dos fechas (15 de marzo y 14 de abril de 2011) en los lagos Zempoala (con 3 sitios de colecta), Compila, Prieta y Tonatihua y en el Arroyo Las Trancas (Fig. 1). Las algas fueron colectadas con una red de arrastre de 20 µm de abertura de malla y además se filtraron 10 L de agua del lugar con una coladera

de 20 µm de abertura de malla. También se colectaron algas del metafiton entreveradas con plantas vasculares acuáticas (*Ceratophyllum demersum* Linnaeus, *C. muricatum* Chamisso, *Myriophyllum* sp., *Cardamine flaccida* Chamisso et Schlechtendal y *Egeria densa* Planchon). Las muestras fueron fijadas con formol neutralizado al 4%. Se tomaron



*in situ* algunas variables fisicoquímicas (en superficie del agua) como temperatura del agua, pH y conductividad eléctrica utilizando un equipo Hanna Instruments HI 8314 Portable pH/mV/Temperature Meter.

**Microscopía.** Se elaboraron preparaciones permanentes utilizando técnicas convencionales para microalgas (Kumar & Singh, 1979). Las observaciones del material estudiado fueron realizadas con un microscopio óptico compuesto Zeiss, equipado con cámara digital



Figuras 3a-m. Algas Euglenozoa, Cryptophyta y Dinoflagellata del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México. **a)** *Euglena* sp. (LM). **b)** *Trachelomonas hispida* (Perty) F. Stein emend Deflandre (MEB). **c)** *Trachelomonas nexilis* Palmer (MEB). **d)** *Trachelomonas raciborskii* Woloszyńska var. *raciborskii* (MEB). **e)** *Trachelomonas rugulosa* F. Stein ex Deflandre var. *rugulosa* (MEB). **f)** *Trachelomonas verrucosa* var. *irregularis* Deflandre (MEB). **g)** *Trachelomonas volvocina* Ehrenberg var. *volvocina* (MEB). **h-i)** *Phacus tortus* (Lemmermann) Skvortzov (LM, MEB). **j)** *Cryptomonas ovata* Ehrenberg (ML). **k-l)** *Peridinium cinctum* (O. F. Müller) Ehrenberg (MEB). **m)** *Ceratium hirundinella* (O. F. Müller) Dujardin (ML). Barras de medida (MEB). Figs. d, f, g = 2 µm. Figs. b, c, e = 5 µm. Figs. i-k = 10 µm. Fig. l = 15 µm. Barras de medida (ML). Fig. a = 10 µm. Fig. j = 30 µm. Figs. h, m = 50 µm.

Tabla 1. Características geográficas y del hábitat de los lagos del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México.

Localidad	Coordenadas	Altitud (m.s.n.m.)	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Hábitat	NI (MEXU)
Lago Zempoala, Sitio 1	19°03'04.08" N, 99°18'56.74" O	2825	12.34	Fitoplancton, metafiton y flotantes macroscópicas pH = 8.8; T = 14.5 °C; C = 112 µS cm <sup>-1</sup> . En la zona litoral abundan <i>Ceratophyllum</i> <i>demersum</i> y <i>Egeria densa</i>	444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 456, 468, 470
Lago Zempoala, Sitio 2	19°03'04.65" N, 99°18'56.08" O	2825.8		Fitoplancton pH = 8.8; T = 14.5 °C, C = 112 µS cm <sup>-1</sup> .	452, 453
Arroyo Las Trancas, que desemboca en el Lago Zempoala, Sitio 3	19°02'58.01" N, 99°19'02.15" O	2819		Metafiton pH = 6.8; T = 6.5°C	454
Lago Zempoala, Sitio 4	19°02'56.32" N 99°18'50.93" O	2848.6		Fitoplancton pH = 7.2; T = 14.2 °C; C = 124 µS cm <sup>-1</sup>	469
Lago Compila	19°03'12.80" N 99°18'49.33" O	2825.8	0.011	Fitoplancton	459, 460
Lago Prieta	19°03'16.05" N 99°18'57.84" O	2835	0.044	Fitoplancton, metafiton y algas flotantes macroscópicas	461, 462, 463, 464, 465
Lago Tonatihua	19°03'44.87" N 99°18'57.89" O	2844	0.061	Fitoplancton pH= 7.1-7.7; T = 16-17°C	466, 467

Canon PowerShot G6 y fueron digitalizadas con el programa Axio Vision 4.8.2. Para los estudios de microscopia electrónica de barrido (MEB) las muestras fueron fijadas con glutaraldehído al 4% y deshidratadas con alcohol etílico. Posteriormente el alga se llevó a punto crítico, se montó en platina y se observó en un Microscopio electrónico de Barrido (MEB) marca Hitachi modelo SU1510. Las muestras líquidas y laminillas permanentes con su número de identificación (NI) se incorporaron al

Herbario Nacional de México (MEXU). Para la determinación taxonómica se consultaron obras especializadas (Komárek & Fott, 1983; Dillard, 1989 a, b, 1990; Comas-González, 1996; Kristiansen, 2002; John *et al.*, 2002; Wehr & Sheath, 2003; Komárek, 2003; Komárek & Anagnostidis, 2008); y se siguió el sistema de clasificación de John *et al.* (2002) y Guiry y Guiry (2014).

Tabla 2. Listado sistemático por orden taxonómico, según los esquemas de clasificación John *et al.* (2002) y Guiry y Guiry (2016) de las algas del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México.

Taxa	Z <sup>1</sup>	P	T	C	A	Forma de vida <sup>3</sup>	Distribución mundial <sup>4</sup>	Muestras
<b>CYANOBACTERIA</b>								
Clase Cyanophyceae								
Orden Chroococcales								
Familia Microcystaceae								
1. <i>Microcystis</i> sp. (Fig. 2c)	X			X		Planctónica		(NI-449, 460)
Familia Chroococcaceae								
2. <i>Chroococcus minimus</i> (Keissler) Lemmermann (Fig. 2d)	X			X		Planctónica	Cosmopolita	(NI-459, 460, 468)
Orden Synechococcales								
Familia Coelosphaeriaceae								
3. <i>Woronichinia naegeliana</i> (Unger) Elenkin (Figs. 2 a-b)	X		X			Planctónica	Cosmopolita	(NI-456, 466, 467)
Familia Leptolyngbyaceae								
4. <i>Leptolyngbya margaritata</i> (Kufferath) Anagnostidis	X					Metafiton		(NI-447)
5. <i>Planktolyngbya limnetica</i> (Lemmermann)	X					Planctónica	Cosmopolita	(NI-446)
J. Komárková-Legnerová <i>et al.</i> G. Cronberg (Fig. 2e)								
Orden Oscillatoriales								
Familia Borziaceae								
6. <i>Borzia trilocularis</i> Cohn ex Gomont (Fig. 2f).	X					Planctónica	Norteamérica y Sudamérica, Europa, Asia	(NI-446)

Tabla 2 (continuación).

Taxa	Z <sup>1</sup>	P	T	C	A	Forma de vida <sup>3</sup>	Distribución mundial <sup>4</sup>	Muestras
Familia Microcoleaceae								
7. <i>Arthrospira jenneri</i> Stizenberger ex Gomont (Fig. 2g)	X	X				Planctónica	Cosmopolita	(NI-450, 461, 462)
Familia Oscillatoriaceae								
8. <i>Phormidium diguetii</i> (Gomont) Anagnostidis et Komárek	X					Metafiton	Cosmopolita	(NI-446)
Orden Nostocales								
Familia Scytonemataceae								
9. <i>Scytonema</i> sp. (Fig. 2h)	X					Metafiton		(NI-444, 445)
Familia Rivulariaceae								
10. <i>Calothrix</i> sp.	X					Epífita		(NI-446)
11. <i>Rivularia</i> cf. <i>borealis</i> P.G. Richter (Fig. 2i)	X					Metafiton	Australia, Asia (Israel)	(NI-445, 446)
12. <i>R. aquatica</i> De Wildeman (Fig. 2j)	X					Metafiton	Asia (Israel)	(NI-445)
Familia Nostocaceae								(NI-446)
13. <i>Anabaena</i> sp. (Fig. 2l)	X		X			Planctónica		(NI-444, 450)
14. <i>Nostoc hatei</i> S.C. Dixit	X					Metafiton	Europa, Asia (India)	(NI-445, 450)
15. <i>N. oryzae</i> (F.E. Fritsch) J. Komárek et K. Anagnostidis (Figs. 2m, n)	X					Metafiton	Asia (India)	(NI-446)
Familia Aphanizomenonaceae								
16. <i>Dolichospermum affine</i> (Lemmermann) Wacklin, L. Hoffmann et Komárek (Fig. 2k)	X					Planctónica	Ártico, Europa, Asia	(NI-444, 445, 450, 468, 469)
EUGLENOZOA								
Clase Euglenophyceae								
Orden Euglenales								
Familia Euglenaceae								
17. <i>Euglena</i> sp. (Fig. 3a)		X		X		Planctónica		(NI-459, 461)
18. <i>Trachelomonas hispida</i> (Perty) F. Stein emend. Deflandre (Fig. 3b)	X		X			Metafiton	Cosmopolita	((NI-459)
19. <i>Trachelomonas nexilis</i> Palmer (Fig. 3c)	X					Planctónica		(NI-465)
20. <i>*T. raciborskii</i> Woloszyńska var. <i>raciborskii</i> (Fig. 3d)		X				Planctónica	Norteamérica y Sudamérica	(NI-465)
21. <i>T. rugulosa</i> F. Stein ex Deflandre var. <i>rugulosa</i> (Fig. 3e)			X			Planctónica	Cosmopolita	(NI-459)
22. <i>T. verrucosa</i> var. <i>irregularis</i> Deflandre (Fig. 3f)	X					Planctónica	Norteamérica, Europa	(NI-465)
23. <i>T. volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg var. <i>volvocina</i> (Fig. 3g)	X	X	X	X		Planctónica, metafiton	Cosmopolita	(NI-445, 448, 450, 459, 460, 461, 465, 466, 468)
Familia Phacaceae								
24. <i>Phacus tortus</i> (Lemmermann) Skvortzov (Figs. 3h, i)	X	X				Planctónica	Cosmopolita	(NI-461, 464)
CRYPTOPHYTA								
Clase Cryptophyceae								
Orden Cryptomonadales								
Familia Cryptomonadaceae								
25. <i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg (Fig. 3j)	X					Planctónica	Cosmopolita	(NI-458)
DINOFLAGELLATA								
Clase Dinophyceae								
Orden Peridinales								
Familia Peridiniaceae								
26. <i>Peridinium cinctum</i> (O.F. Müller) Ehrenberg (Figs. 3k, l)	X		X			Planctónica	Cosmopolita	(NI-444, 466, 467, 468, 469)
Familia Ceratiaceae								
27. <i>Ceratium hirundinella</i> (O.F. Müller) Dujardin (Fig. 3m)	X		X			Planctónica	Cosmopolita	(NI-450, 466, 467)
OCHROPHYTA								
Clase Chrysophyceae								
Orden Chromulinales								
Familia Dinobryaceae								
28. <i>Dinobryon sociale</i> Ehrenberg (Fig. 4a)	X					Planctónica, epífita,	Norteamérica, Europa, Asia	(NI-450, 468, 469)
29. <i>*Epiplatys utriculus</i> var. <i>acuta</i> (J. Schiller) D.K. Hilliard et Asmund (Figs. 4b-c)		X				Epífita de <i>Mougeotia</i> y <i>Arthrospira</i>	Norteamérica, Europa	(NI-461)

Tabla 2 (continuación).

Taxa	Z <sup>1</sup>	P	T	C	A	Forma de vida <sup>3</sup>	Distribución mundial <sup>4</sup>	Muestras
Clase Xanthophyceae								
Orden Mischococcales								
Familia Botryochloridaceae								
30. <i>*Ducellieria chodatii</i> (Ducellier) Teiling (Fig. 4d)	X		X			Metafiton	Europa	(NI-450, 467, 468)
Familia Characiopsidaceae								
31. <i>Characiopsis</i> sp.		X				Epífita		(NI-463)
CHLOROPHYTA								
Clase Chlorophyceae								
Orden Volvocales								
Familia Volvocaceae								
32. <i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg (Fig. 4e)	X	X				Planctónica, metafiton	Cosmopolita	(NI-456, 463, 464, 465, 468, 469)
33. <i>Pandorina morum</i> (O.F. Müller) Bory de Saint-Vincent (Fig. 4f)	X					Planctónica	Cosmopolita.	(NI-450, 468)
Orden Chlorococcales								
Familia Chlorococcaceae								
34. <i>Chlorococcum</i> sp.	X		X	X		Planctónica		(NI-444, 459, 466, 468)
Orden Sphaeropleales								
Familia Characiaceae								
35. <i>*Characium rostratum</i> Reinhard ex Printz	X					Planctónica	Cosmopolita	(NI-468)
Familia Hydrodictyaceae								
36. <i>Pediastrum duplex</i> Meyen (Fig. 4g)	X			X		Planctónica, metafiton	Cosmopolita	(NI-447, 450, 459, 460)
37. <i>Stauridium tetras</i> (Ehrenberg) E. Hegewald (Fig. 4h)	X					Planctónica	Cosmopolita	(NI-450)
Familia Schizochlamydeaceae								
38. <i>Planktosphaeria gelatinosa</i> G.M. Smith (Fig. 40)		X				Planctónica	Norteamérica, Europa	(NI-465)
Familia Selenastraceae								
39. <i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs	X			X		Planctónica, metafiton (asociada con detritus)	Cosmopolita	(NI-445, 459)
40. <i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Komárková-Legnerová (Fig. 4p)				X		Planctónica	Cosmopolita	(NI-459)
Familia Scenedesmaceae								
41. <i>Coelastrum microporum</i> Nägeli (Fig. 5b)	X		X			Planctónica	Cosmopolita	(NI-450, 466, 467)
42. <i>Scenedesmus longus</i> var. <i>ellipticus</i> (West et West) G. M. Smith (Figs. 5c, d)				X		Planctónica	Cosmopolita	(NI-459)
43. <i>S. magnus</i> Meyen (Fig. 5e)				X		Planctónica	Cosmopolita	(NI-459, 460)
44. <i>S. quadricauda</i> var. <i>longispinus</i> G.M. Smith (Fig. 5f)				X		Planctónica	Cosmopolita	(NI-459, 460)
Familia Sphaeropleaceae								
45. <i>*Radiofilum conjunctivum</i> Schmidle (Fig. 5j)	X	X				Metafiton	Cosmopolita	(NI-444, 445, 446, 447, 449, 450, 456, 458, 461)
Clase Trebouxiophyceae								
Orden Trebouxiales								
Familia Botryococcaceae								
46. <i>Botryococcus braunii</i> Kützinger (Fig. 4l)			X			Planctónica	Cosmopolita	(NI-467)
47. <i>Dictyosphaerium pulchellum</i> H.C. Wood (Fig. 4j)				X		Planctónica	Cosmopolita	(NI-459, 460)
Orden Chlorellales								
Familia Oocystaceae								
48. <i>*Lagerheimia chodatii</i> C. Bernard (Fig. 4k)				X		Planctónica	Cosmopolita	(NI-459, 460)
49. <i>*L. genevensis</i> (Chodat) Chodat (Fig. 4l)				X		Planctónica	Cosmopolita	(NI-459, 460)
50. <i>*L. wratislaviensis</i> Schröder (Fig. 4m)				X		Planctónica	Cosmopolita	(NI-459)
51. <i>Oocystis marssonii</i> Lemmermann (Fig. 4n)	X		X	X		Planctónica	Cosmopolita	(NI-444, 449, 459, 460, 461, 466, 467)
Familia Chlorellaceae								
52. <i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim (Fig. 5a)				X		Planctónica	Cosmopolita	(NI-459, 460)

Tabla 2 (continuación).

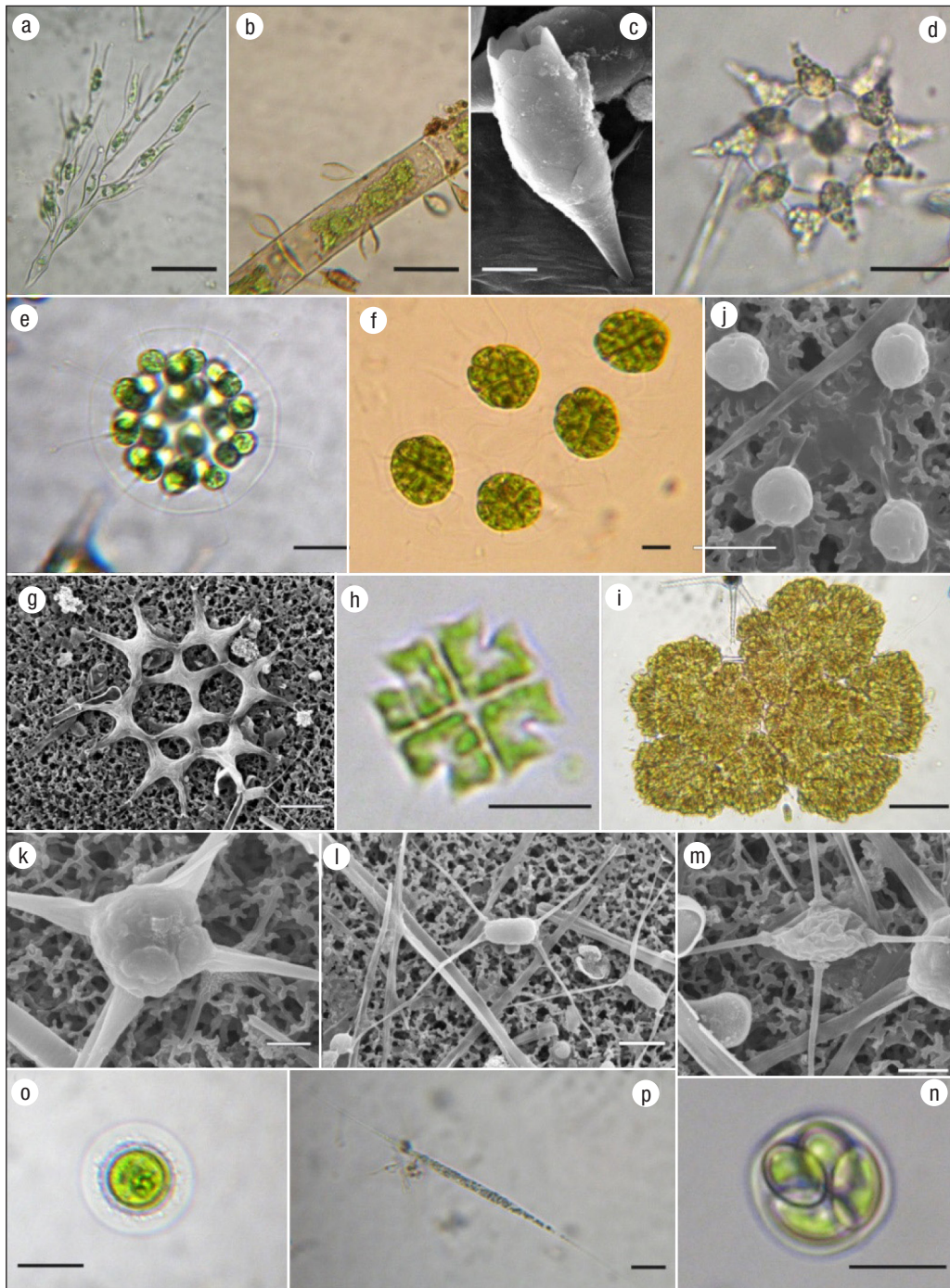
Taxa	Z <sup>1</sup>	P	T	C	A	Forma de vida <sup>3</sup>	Distribución mundial <sup>4</sup>	Muestras
Orden Chaetophorales								
Familia Chaetophoraceae								
53. <i>Chaetophora pisiformis</i> (Roth) C. Agardh (Fig. 5g)	X					Metafiton, fija en un sustrato	Norteamérica, Europa, Asia	(NI-445-446, 456)
Orden Oedogoniales								
Familia Oedogoniaceae								
54. <i>Bulbochaete</i> sp. (Fig. 5h)	X					Epífita		(NI-445, 446, 448, 469)
55. <i>Oedogonium</i> sp. (Fig. 5i)	X					Metafiton, fija a un sustrato		(NI-456)
Orden Prasiolales								
Familia Prasiolaceae								
56. <i>Prasiola mexicana</i> J. Agardh					X	Sobre suelo	Norteamérica, Centroamérica	(NI-378, MEXU 1969) <sup>2</sup>
CHAROPHYTA								
Clase Zygnematomyceae								
Orden Zygnematales								
Familia Zygnemataceae								
57. <i>Mougeotia</i> sp. (Fig. 5l)	X	X				Flotante, litoral	Cosmopolita	(NI-444, 445, 447, 448, 449, 450, 461, 463, 464, 468)
58. <i>Spirogyra</i> sp. 1 (Fig. 5m)	X	X				Planctónica		(NI-444, 447, 449, 463, 468)
59. <i>Spirogyra</i> sp. 2 (Fig. 5n)	X					Planctónica		(NI-444)
60. <i>Zygnema</i> sp. (Fig. 5o)	X					Planctónica		(NI-445, 447)
Orden Desmidiaceae								
Familia Closteriaceae								
61. <i>Closterium acutum</i> Brébisson (Fig. 5k)	X					Planctónica	Cosmopolita	(NI-456)
Familia Desmidiaceae								
62. <i>Cosmarium subumidum</i> Nordstedt (Fig. 6a)	X		X			Metafiton	Cosmopolita	(NI-445, 446, 449)
63. <i>Desmidium swartzii</i> C. Agardh ex Ralfs (Fig. 6b)	X					Metafiton	Cosmopolita	(NI-448, 449)
64. <i>Pleurotaenium trabecula</i> (Ehrenberg) Nägeli (Fig. 6c)	X					Metafiton,	Cosmopolita	(NI-445, 446, 456)
65. <i>*Staurastrum bulbosum</i> (West) Coesel (Fig. 6d)	X		X			Planctónica metafiton	Europa, Australia	(NI-456, 467)
66. <i>S. planctonicum</i> Teiling (Figs. 5e, f)	X					Planctónica	Norteamérica, Sudamérica, Europa, Asia	(NI-449, 450, 463, 464, 466, 468, 469)
Clase Coleochaetophyceae								
Orden Coleochaetales								
Familia Coleochaetaceae								
67. <i>*Coleochaete orbicularis</i> Pringsheim (Fig. 6g)	X					Epífita	Cosmopolita	(NI-446, 468)
Clase Charophyceae								
Orden Charales								
Familia Characeae								
68. <i>Chara braunii</i> Gmelin (Figs. 6h-j)	X					Bentónica (sobre limo)	Cosmopolita	(MEXU 435, 1683; NI-931)
69. <i>Nitella</i> sp.	X					Bentónica (sobre limo)		(NI-930, MEXU 405, 406)

<sup>1</sup> Laguna de Zempoala (Z), Laguna Prieta (P), Laguna Tonatihuá (T), Laguna Compila (C) y Arroyo las Trancas (A).<sup>2</sup> El ejemplar de herbario señala la localidad: Laguna de Zempoala, riachuelo de la 5a laguna (MEXU 1969).<sup>3</sup> Wetzel (2001)<sup>4</sup> Guiry & Guiry (2016) y John *et al.* (2002).

\* = Nuevos registros para México.

NI = Número de identificación de la Colección de Algas del MEXU.





Figuras 4a-p. Algas Ochrophyta y Chlorophyta del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México. **a)** *Dinobryon sociale* Ehrenberg (ML). **b-c)** *Epipyxis utriculus* var. *acuta* (J. Schiller) D.K. Hilliard *et* Asmund (ML y MEB). **d)** *Ducellieria chodatii* (Ducellier) Teiling (ML). **e)** *Eudorina elegans* Ehrenberg (ML). **f)** *Pandorina morum* (O.F. Müller) Bory de Saint-Vincent (ML). **g)** *Pediastrum duplex* Meyen (MEB). **h)** *Stauridium tetras* (Ehrenberg) E. Hegewald (ML). **i)** *Botryococcus braunii* Kützing (ML). **j)** *Dictyosphaerium pulchellum* H.C. Wood (MEB). **k)** *Lagerheimia chodatii* C. Bernard (MEB). **l)** *L. genevensis* (Chodat) Chodat (MEB). **m)** *L. wratislaviensis* Schröder (MEB). **n)** *Oocystis marssonii* Lemmermann (ML). **o)** *Planktosphaeria gelatinosa* G.M. Smith (ML). **p)** *Monoraphidium griffithii* (Berkeley) Komárková-Legnerová (ML). Barras de medida (MEB). Figs. k, m = 2.5  $\mu$ m. Figs. c, j, l = 5  $\mu$ m. Fig. g = 10  $\mu$ m. Barras de medida (ML). Figs. a, h, o, p = 5  $\mu$ m. Figs. d, f, n = 10  $\mu$ m. Figs. b, e, i = 20  $\mu$ m.

Tabla 3. Riqueza ficoflorística de los lagos Zempoala, Prieta, Tonatihuá, Compila y Arroyo Las Trancas del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México (15 de marzo y 14 de abril de 2011).

División/Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	Especie	Variedad
Cyanobacteria	Cyanophyceae	4	11	14	12	0
Euglenozoa	Euglenophyceae	1	2	3	7	4
Cryptophyta	Cryptophyceae	1	1	1	1	0
Dinoflagellata	Dinophyceae	1	2	2	2	0
Ochrophyta	Chrysophyceae	1	1	2	2	1
	Xanthophyceae	1	2	2	1	0
Chlorophyta	Chlorophyceae	3	8	12	13	2
	Trebouxiophyceae	5	6	9	9	0
Charophyta	Zygnematophyceae	2	3	8	6	0
	Coleochaetophyceae	1	1	1	1	0
	Charophyceae	1	1	2	1	0
Total		21	38	56	55	7

RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan las características fisicoquímicas del agua. El pH en el lago Zempoala estuvo en el intervalo 7.2-8.8, la temperatura del agua superficial se registró entre 14.2-14.5°C y la conductividad entre 112-124  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . El Arroyo Las Trancas, que desemboca en el Lago Zempoala, tuvo las temperaturas más bajas 6.5°C y pH de 6.8. En Tonatihuá se registró una temperatura de 16-17°C y un pH de 7.1-7.7.

**Riqueza de especies.** La lista de especies algales del Parque Nacional Lagunas de Zempoala se presenta en la Tabla 2. La riqueza se resume en el Tabla 3. Se determinaron 55 especies y 7 variedades. Sobresalen Chlorophyceae (13 taxa), seguido de Cyanophyceae (12), Trebouxiophyceae (9), Euglenophyceae (7) y Zygnematophyceae (6). El resto de las clases contienen sólo 1 a 2 especies.

La comunidad de la zona de estudio fue principalmente planctónica (38 spp.), seguido del metafiton (17 spp.) y las algas bentónicas (3 spp.). También existió una comunidad menor de algas flotantes (una macroalga bentónica que en algún momento de su ciclo de vida se suelta y flota) y epífitas (dos especies sujetas a un alga o planta acuática). Algunas cianobacterias planctónicas características de las zona fueron: *Woronichinia naegeliana* y *Planktolyngbya limnetica*, entre otras. Los euglenoideos no fueron tan conspicuos en estos cuerpos de agua, tal fue el caso de *Trachelomonas nexilis* y otras especies y variedades (Tabla 2). De las Cryptophyta se presentaron de forma abundante *Cryptomonas ovata*. Los dinoflagelados *Ceratium hirundinella* y *Peridinium cinctum* fueron los más conspicuos en el lago Tonatihuá. Las Chrysophyceae como *Dinobryon sociale* y *Epipyxis utriculus* var. *acuta* se encontraron colonizando ambientes planctónicos y también como epífitas de otras algas. Con respecto a las Xanthophyceae se encontró a *Ducellieria chodatii* creciendo en el metafiton.

Las Chlorophyta estuvieron presentes en toda la zona de estudio y principalmente como parte de la comunidad planctónica, p.e. *Scenedesmus longus* var. *ellipticus*, *Eudorina elegans*, *Botryococcus braunii* y varias especies de *Lagerheimia*. De Charophyta se encontró a *Staurastrum planctonicum*. Otras algas verdes crecen como metafiton: *Pedias-*

*trum duplex*, *Ankistrodesmus falcatus* y *Chaetophora pisiformis*. Tres especies se encontraron como bentónicas: *Prasiola mexicana*, *Chara braunii* y *Nitella* sp., la primera en el arroyo y las otras en el Lago Zempoala. Para el caso de las Charophyta la mayoría de los taxa fueron planctónicos, como muchas desmídias (p.e. *Cosmarium subtumidum*), pero también se encontraron en el metafiton. Las epífitas estrictas fueron: *Coleochaete orbicularis* y *Bulbochaete* sp.

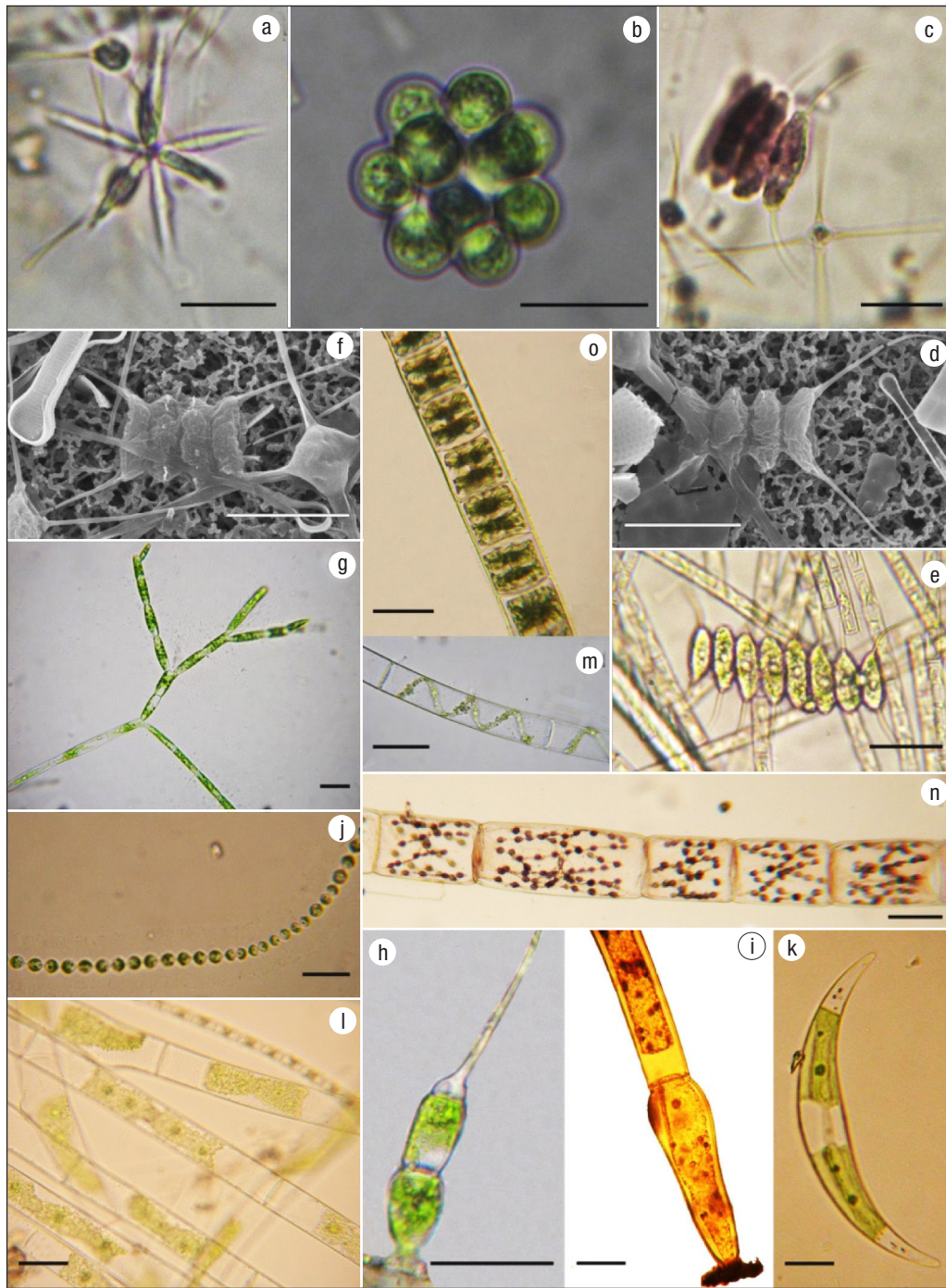
Se dan a conocer 10 nuevos registros para México (Tabla 2): Cinco Chlorophyta (*Characium rostratum*, *Lagerheimia chodatii*, *L. genevensis*, *L. wratislaviensis*), dos Charophyta (*Staurastrum bulbosum*, *Coleochaete orbicularis*), dos Ochrophyta (*Epipyxis utriculus* var. *acuta*, *Ducellieria chodatii*) y una Euglenozoa (*Trachelomonas raciborskii* var. *raciborskii*).

**Aspectos biogeográficos.** La ficoflora del Parque Nacional Lagunas de Zempoala se distribuye en cinco lagos que se resumen en la Tabla 4. El lago Zempoala tiene el mayor número de especies (40), distribuidas en los siguientes grupos: Cyanobacteria (12), Chlorophyta (10), Charophyta (8), Euglenozoa (5), Dinoflagellata (2) y Cryptophyta (1). Le siguen en

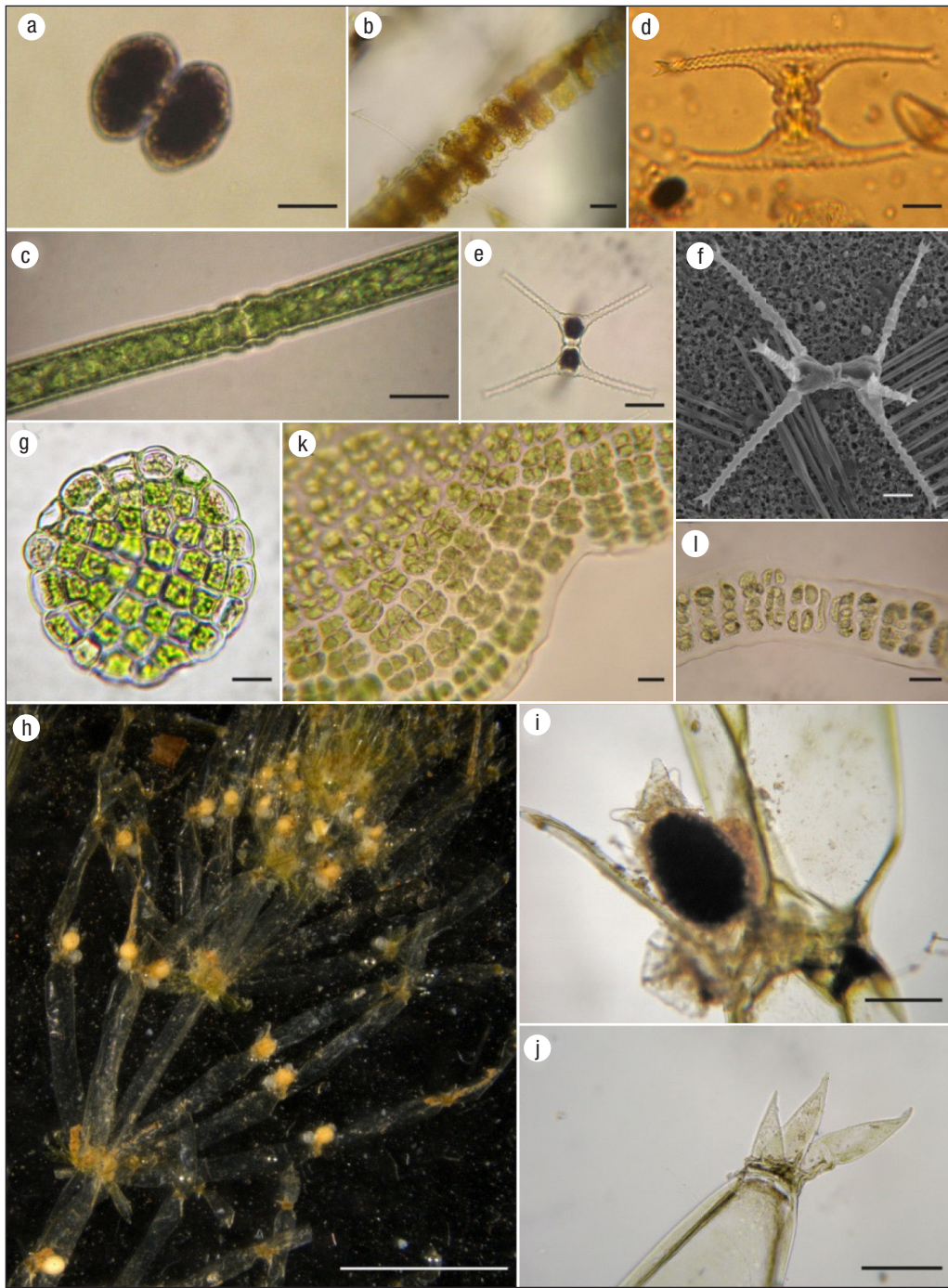
Tabla 4. Distribución ficoflorística por grupo algal de los taxa de los lagos Zempoala (Z), Prieta (P), Tonatihuá (T), Compila (C) y Arroyo Las Trancas (A) del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México (15 de marzo y 14 de abril de 2011).

Taxa	Z	P	T	C	A
Cyanobacteria	12	1	1	1	0
Euglenozoa	5	3	3	1	0
Cryptophyta	1	0	0	0	0
Dinoflagellata	2	0	2	0	0
Ochrophyta (Chrysophyceae)	1	1	0	0	0
Ochrophyta (Xanthophyceae)	1	0	1	0	0
Chlorophyta	10	3	3	12	1
Charophyta	8	0	2	0	0
Total	40	8	13	14	1





Figuras 5a-o. Algas Chlorophyceae, Trebouxiophyceae y Zygnematophyceae (Closteriaceae y Zygnemataceae) del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México. **a)** *Actinastrum hantzschii* Lagerheim (ML). **b)** *Coelastrum microporum* Nägeli (ML). **c-d)** *Scenedesmus longus* var. *ellipticus* (West et West) G.M. Smith (ML y MEB). **e)** *S. magnus* Meyen (ML). **f)** *S. quadricauda* var. *longispinus* G.M. Smith (MEB). **g)** *Chaetophora pisiformis* (Roth) C. Agardh (ML). **h)** *Bulbochaete* sp. (ML). **i)** *Oedogonium* sp. (ML). **j)** *Radiofilum conjunctivum* Schmidle (ML). **k)** *Closterium acutum* Brébisson (ML). **l)** *Mougeotia* sp. (ML). **m)** *Spirogyra* sp. 1 (ML). **n)** *S.* sp. 2 (ML). **o)** *Zygnema* sp. (ML). Barras de medida (MEB). Figs. d, f = 10  $\mu$ m. Barras de medida (ML). Fig. e = 5  $\mu$ m. Figs. a, c, g, k = 10  $\mu$ m. Figs. b, i, j, l, m = 20  $\mu$ m. Fig. n = 50  $\mu$ m. Figs. h, o = 100  $\mu$ m.



Figuras 6a-l. Algas Charophyta (Desmidiaceae, Coleochaetaceae y Characeae) del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México. **a)** *Cosmarium subtumidum* Nordstedt (ML). **b)** *Desmidium swartzii* C. Agardh ex Ralfs (ML). **c)** *Pleurotaenium trabecula* (Ehrenberg) Nägeli (ML). **d)** *Staurastrum bulbosum* (West) Coesel (ML). **e-f)** ML y MEB de *S. planctonicum* Teiling. **g)** *Coleochaete orbicularis* Pringsheim (ML). **h-j)** *Chara braunii* Gmelin (ML). **k-l)** *Prasiola mexicana* J. Agardh. (ML). Barras de medida (MEB). Fig. f = 10  $\mu$ m. Barras de medida (ML). Figs. d, e, k-l = 10  $\mu$ m. Figs. a-b, g = 20  $\mu$ m. Fig. c = 50  $\mu$ m. Figs. i-j = 100  $\mu$ m. Fig. h = 1 mm.



orden decreciente Compila (14), Tonatihu (13), Prieta (8) y el Arroyo las Trancas del lago Zempoala (1).

Del total de especies podemos afirmar que la mayoría son de distribución cosmopolita (65.4%), el resto se reparten en especies que tienen afinidades a regiones europeas, asiáticas y australianas. Las especies cosmopolitas con frecuencia invaden diferentes ambientes o zonas ecológicas de los lagos y otros cuerpos de aguas continentales. Un porcentaje mucho menor a las cosmopolitas son las especies con afinidades al continente americano (16.3%). De las especies que se encuentran en las regiones de Norteamérica y Sudamérica se puede citar a *Trachelomonas raciborskii* var. *raciborskii* y a *Prasiola mexicana* para regiones de Norteamérica, aunque puede llegar hasta Centroamérica. También ocurrieron especies con registros en regiones frías y templadas como *Dolichospermum affine*.

## DISCUSIÓN

La riqueza algal de Zempoala en este estudio fue de 55 especies; este número es ligeramente menor al reportado por Ortega *et al.* (1995, 70 spp. excluyendo las diatomeas), a pesar de ello en este estudio se encontraron diez nuevos registros. Dichas especies se distribuyen aproximadamente en un área de 0.24 Km<sup>2</sup> a una altitud de 2850 m.s.n.m. y 5 m de profundidad (Bonilla-Barbosa & Novelo-Retana, 1995). Este número podría aumentar si se considerara hacer estudios anuales, comprendiendo un mayor número de sitios de muestreo, no obstante los resultados presentados aquí, muestran que estos lagos tienen una alta riqueza de especies en comparación con otros lagos de México. Por ejemplo en el Lago el Sol (Nevado de Toluca, Estado de México), con dimensiones parecidas a PNLZ (0.24 Km<sup>2</sup>), aunque mayor profundidad (14 m) y ubicado en una zona con mayor altitud (4680 m.s.n.m.), se han registrado 76 taxa (Banderas-Tarabay, 1997); para el lago Cuitzeo (Michoacán) se reportaron 26 taxa en 2007. Es interesante observar que dicho lago, a pesar de ser muy grande (280 Km<sup>2</sup>) aunque con una profundidad somera (<2 m) y un altitud de 1849 m.s.n.m., presenta una diversidad menor a PNLZ (Ortega-Murillo *et al.*, 2010); en otro lago de origen volcánico como Alchichica (Puebla), se han registrado sólo 9 especies, a pesar de ser un cuerpo de agua de mayor dimensión (2 Km<sup>2</sup>), con mayor profundidad (65 m), y similar altitud (2345 msnm), aunque de carácter hiposalino (8.5 g l<sup>-1</sup>), lo que seguramente repercute en su pobre diversidad fitoplanctónica (Oliva *et al.*, 2001). Existe una variación del nivel del agua de los lagos del PNLZ a través del tiempo, ocasionado por la sobreexplotación del recurso, ya que el agua la cual es utilizada para abastecer las localidades de Huixilac, Tres Marías y Santa Martha. Esta situación podría provocar una variación en la presencia de las especies, es decir, en un año podrían presentarse unas y en el siguiente desaparecer y por el contrario otras aparecer (Atlas Nacional de México, 1990; Bonilla-Barbosa & Novelo-Retana, 1995). Se tienen algunos indicadores de la ausencia de especies que fueron colectadas en la década de los 50-60s y que en este estudio no se observaron (*Chara braunii* y *Nitella* sp.). La población de *C. braunii* y *Nitella* decrecen generalmente por la eutrofización y el pastoreo (Urbanik, 2007). Un caso similar a Zempoala se presentó en Inglaterra, donde a esta misma especie ya se le considera extinta (Bryant & Stewart, 2002). Otro ejemplo es *Prasiola mexicana*, colectada en la década de los 60s y 80s, que tampoco fue encontrada en este estudio. *P. mexicana*, especie bentónica, que se desarrolla en lugares montañosos mayores a

los 1300 m.s.n.m. y que se localiza en ríos o arroyos con temperatura que van de 2-16.4°C (Ramírez-Rodríguez & Carmona-Jiménez, 2005), es considerada de afinidad al continente americano (Norteamérica y Centroamérica), toda vez que no se ha reportado en el viejo mundo.

En conclusión los ambientes acuáticos de Zempoala se pueden considerar como de alta riqueza y diversidad algal, en comparación con otros lagos mexicanos. Se reportan 10 nuevos registros para México destacando las Chlorophyta y Charophyta, que reafirman la mayor diversidad algal de la zona. La ubicación de los lagos del parque PNLZ, muestra que las relaciones geográficas de su flora algal presenta afinidad boreal, templada y de amplia distribución. La flora algal encontrada sugiere que los ambientes lénticos de Zempoala podrían encontrarse en un proceso medio de contaminación del agua, muy probablemente debida a procesos antrópicos.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece su ayuda en el trabajo de campo y laboratorio a la Biól. Ca-triona Andrea Zúñiga Ramos. Por las facilidades para la realización de este trabajo al Laboratorio de Botánica, Unidad de Morfología y Función FES Iztacala de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

## REFERENCIAS

- ALBORES-CELORIO, M. L. 1969. Contribución al conocimiento de los protozoarios Phytomastigoforos de la Laguna Zempoala, Estado de Morelos. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, UNAM, México, D.F., 38 p.
- ATLAS NACIONAL DE MÉXICO. 1990. *Marco Geográfico del Parque Nacional Lagunas de Zempoala. Evaluación del patrimonio natural y cultural.* Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F. Vol. II (Medio ambiente), sección V.4.2.
- BANDERAS-TARABAY, A. G. 1997. Phycoflora of the tropical high-mountain lake El Sol, Central Mexico, and some biogeographical relationships. *Hydrobiologia* 354:17-40. DOI: 10.1023/A:1003082500767, 10.1023/A:1026251101534
- BONILLA-BARBOSA, J. R. & A. NOVELO-RETANA. 1995. *Manual de identificación de plantas acuáticas del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México.* Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 168 p.
- BRYANT, J. A. & N. F. STEWART. 2002. Order Charales. In: John, D.M., B.A. Whitton & A. J. Brook (Eds.). *The freshwater algal flora of the British Isles. An identification guide to freshwater and terrestrial algal.* Cambridge University Press, Cambridge, pp. 593-612.
- COMAS-GONZÁLEZ, A. 1996. Las Chlorococcales dulciacuícolas de Cuba. *Bibliotheca Phycologica* 99: 1-192.
- CONTRERAS-MACBEATH, T. 1995. Ecosistemas acuáticos del Estado de Morelos: con énfasis en los peces. *Ciencia y Desarrollo XXI* (122): 42-51.
- DILLARD, G. E. 1989 a. Freshwater algae of the southeastern United States. Part 1. Chlorophyceae: Volvocales, Tetrasporales and Chlorococcales. *Bibliotheca Phycologica* 81: 1-202.

- DILLARD, G. E. 1989 b. Freshwater algae of the southeastern United States. Part 2. Chlorophyceae: Ulotrichales, Microsporales, Cyndrocapsales, Sphaeropleales, Chaetophorales, Cladophorales, Schizogoniales, Siphonales, and Oedogoniales. *Bibliotheca Phycologica* 82: 1-163.
- DILLARD, G. E. 1990. Freshwater algae of the southeastern United States. Part 3. Chlorophyceae: Zygnematales: Zygnemataceae, Mesotaeniaceae and Desmidiaceae (Section 1). *Bibliotheca Phycologica* 85: 1-172.
- GARCÍA-RODRÍGUEZ, J. & R. TAVERA. 1998. Fitoplancton del Lago Zempoala. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 63: 85-100.
- GARCÍA-RODRÍGUEZ, J. & R. TAVERA. 2002. Phytoplankton composition and biomass in a shallow monomictic tropical lake. *Hydrobiologia* 467: 91-98. DOI 10.1023/A:1014992800851
- GARCÍA-RODRÍGUEZ, J., F. I. MOLINA-ASTUDILLO, H. QUIROZ-CASTELÁN & R. TREJO-ALBARRÁN. 2003. Especies del fitoplancton en el lago Tonatihuá, Morelos, México. *Acta Universitaria* 13 (2): 53-66. DOI: 10.15174/au.2003.270
- GARCÍA-RODRÍGUEZ, J., F. I. MOLINA-ASTUDILLO, M. DÍAZ-VARGAS & H. QUIROZ-CASTELÁN. 2010. Componentes fitoplanctónicos y zoobentónicos en el Lago Zempoala, Morelos, México. *Acta Universitaria* 20 (2): 23-30. DOI: 10.15174/au.2010.75
- GUIRY, M. D. & G. M. GUIRY. 2014. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponible en línea en: <http://www.algaebase.org> (consultado el 18 noviembre 2016).
- JOHN, D. M., B. A. WHITTON & A. J. BROOK (Eds.). 2002. *The freshwater algal flora of the British Isles. An identification guide to freshwater and terrestrial algal*. Cambridge University Press, Cambridge, 702 p.
- KOMÁREK, J. 2003. Coccoid and colonial cyanobacteria. In: Wehr, J. D. & R. G. Sheath (Eds.). *Freshwater algae of North America. Ecology and classification*. Academic Press, Elsevier Science, San Diego, pp. 59-116.
- KOMÁREK, J. & K. ANAGNOSTIDIS. 2008. Cyanoprokaryota 2. Teil/ 2nd Part: Oscillatoriales. In: Büdel, B., L. Krienitz, G. Gärtner & M. Schagerl (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/2. Elsevier / Spectrum Akademischer Verlag Heidelberg, Norderstedt, 759 p.
- KOMÁREK, J. & B. FOTT. 1983. Chlorophyceae (Grünalgen) Ordnung: Chlorococcales. In: Huber-Pestalozzi, G. (Ed.). *Das Phytoplankton des Süßwassers Systematik und Biologie*. Band XVI 7. Teil 1. Hälfte. Schweizerbart, Stuttgart, 1044 p.
- KRISTIANSEN, J. 2002. Phylum Chrysophyta (Golden algae). In: John, D.M., B.A. Whitton & A.J. Brook (Eds.). *The freshwater algal flora of the British Isles. An identification guide to freshwater and terrestrial algal*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 214-244.
- KUMAR, H. D. & H. N. SINGH. 1979. *A textbook on algae*. The McMillan Press, LTD, London, 216 p.
- LÓPEZ-UCHOTERENA, E. & M. T. ROURE-CANE. 1970. Lista taxonómica comentada de protozoarios de vida libre de México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 31: 23-68. Disponible en: <http://repositorio.fcien.unam.mx:8080/jspui/bitstream/11154/143247/1/31VListaTaxon%C3%B3mica.pdf> (Consultado 3 noviembre 2014)
- OLIVA, M. G., A. LUGO, J. ALCOCER, L. PERALTA & M. R. SÁNCHEZ. 2001. Phytoplankton dynamics in a deep, tropical, hyposaline Lake. *Hydrobiologia* 466: 299-306. DOI: 10.1023/A:1014578024049
- ORTEGA, M. M. 1984. *Catálogo de algas continentales recientes de México*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 566 p.
- ORTEGA, M. M., J. L. GODÍNEZ, G. GARDUÑO & M. G. OLIVA. 1995. *Ficología de México. Algas continentales*. AGT Editor, S.A. México, D.F., 221 p.
- 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 de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Biológicas* 12 (2): 75-81, disponible en: <http://www.biologicas.umich.mx/index.php/biologicas/article/view/81/81> (consultado el 18 noviembre 2016)
- RAMÍREZ-PULIDO, J. 1969. Contribución al estudio de los mamíferos del Parque Nacional lagunas de Zempoala, Morelos, México. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México* 40 (2): 253-290.
- RAMÍREZ-RODRÍGUEZ, R. & J. CARMONA-JIMÉNEZ. 2005. Taxonomy and distribution of freshwater *Prasiola* (Prasiolales, Chlorophyta) in central Mexico. *Cryptogamie, Algologie* 26: 177-188.
- URBANIÁK, J. 2007. Distribution of *Chara braunii* Gmelin 1826 (Charophyta) in Poland. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 76 (4): 313-320. DOI: 10.5586/asbp.2007.035
- WEHR, J. D. & R. G. SHEATH. 2003. *Freshwater algae of North America. Ecology and Classification*. Academic Press, Elsevier Science, San Diego. 918 p.
- WETZEL, R. G. 2001. *Limnology: lake and river ecosystems*. 3a ed. Elsevier Science, Academic Press, San Diego, 1011 p.