

## Microalgas asociadas a un vertedero de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cerro de la Estrella, sobre un canal de Xochimilco, Ciudad de México

### Microalgae associated with a landfill of the Cerro de la Estrella Wastewater Treatment Plant, on a channel in Xochimilco, Mexico City

Saúl Almanza Encarnación<sup>1</sup>; María Guadalupe Figueroa Torres<sup>2</sup>; María Jesús Ferrara Guerrero<sup>3</sup>; Aída del Rosario Malpica Sánchez<sup>4</sup>; José Roberto Ángeles Vázquez<sup>3</sup>

Recibido: 07 de julio de 2022.

Aceptado: 16 de marzo de 2023.

Publicado: abril de 2023.

#### RESUMEN

<sup>1</sup> Maestría en Ecología Aplicada, Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco

<sup>2</sup> Laboratorio de Ficología y Fitofarmacología, Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco

<sup>3</sup> Laboratorio de Ecología Microbiana, Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco

<sup>4</sup> Laboratorio de Calidad del Agua, Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco, Calzada del Hueso 1100, Colonia Villa Quietud, 04960, México

**\*Corresponding author:**

Saúl Almanza Encarnación: e-mail: saul20almanza@gmail.com

**To quote as:**

López-Valdez, M. L., H. S. Espinosa-Pérez & A. L. báñez

Almanza Encarnación, S., M. G. Figueroa Torres, M. J. Ferrara Guerrero, A. del R. Malpica Sánchez & J. R. Ángeles Vázquez. 2023. Microalgas asociadas a un vertedero de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cerro de la Estrella, sobre un canal de Xochimilco, Ciudad de México. *Hidrobiológica* 33 (1): 73-86.

**Antecedentes.** La Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Cerro de la Estrella descarga aguas tratadas en diferentes sitios de la Ciudad de México por medio de tubos o vertederos, en donde se desarrollan de manera diferencial, algunas microalgas en función de las condiciones ambientales. **Objetivo.** Conocer la composición y distribución de la ficoflora asociada a un vertedero proveniente de la PTAR Cerro de la Estrella, sobre un canal de la zona chinampera de Xochimilco, Ciudad de México y su relación con algunas variables físicas y químicas. **Métodos.** Se establecieron seis puntos de muestreo en un área cercana a un vertedero de agua residual, las muestras de algas se recolectaron con red de arrastre y con botella van Dorn. Se analizaron parámetros físicos y químicos del agua (temperatura, pH, conductividad, nitritos, nitratos y ortofosfatos). El material ficológico se revisó en un microscopio óptico. Se realizó un análisis de regresión lineal para conocer la relación entre riqueza y abundancia de especies versus los parámetros físicos y químicos medidos. **Resultados.** Se identificó un total de 88 especies pertenecientes a siete Phylum, siendo Bacillariophyta el más diverso con 35 especies, seguido de las Chlorophyta con 26; las Euglenozoa, Cyanobacteria y Miozoa tuvieron 16, 6 y 3 especies respectivamente; mientras que los Phylum Cryptista y Ochrophyta solo presentaron una especie. Los *taxa* más frecuentes fueron *Chlorella* sp., *Desmodesmus protuberans*, *Stephanocyclus meneghinianus* y *Gomphonema* sp., encontrándose en los seis puntos muestreados; por su parte los más abundantes fueron *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* con 1120 cél/mL, *S. meneghinianus* y *Aulacoseira granulata* con 960 y 625 cél/mL respectivamente; asimismo *Microcystis aeruginosa* con 490 cél/mL. **Conclusiones.** Se observaron 25 nuevos registros para la zona de estudio. Dominaron las especies de los Phylum Bacillariophyta y Chlorophyta. Se registró *M. aeruginosa*, especie causante de florecimientos algales nocivos, pero pequeñas cantidades. Se observó distribución diferencial de las especies, a pesar de la estabilidad física y química a lo largo de los puntos muestreados.

**Palabras clave.** Agua residual, distribución y abundancia, microalgas, Bacillariophyta, Chlorophyta.

#### ABSTRACT

**Background.** The Cerro de la Estrella Wastewater Treatment Plant (PTAR) discharges treated water at different sites in Mexico City through pipes or spillways, where some microalgae develop differentially depending on environmental conditions. **Objective.** To know the composition and distribution of the phycoflora associated with a landfill from the Cerro de la Estrella WWTP, on a channel in the chinampera area of Xochimilco, Mexico City and its relationship with some physical and chemical variables. **Methods.** Six sampling points were established in an area close to a wastewater dump, the algae samples were collected with a trawl net and a van Dorn bottle. Physical and chemical parameters of the water (temperature, pH, conductivity, nitrites, nitrates, and orthophosphates) were analyzed. Phycological material was reviewed under an optical

microscope. A linear regression analysis was carried out to determine the relationship between richness and abundance of species versus the physical and chemical parameters measured. **Results.** A total of 88 species belonging to seven Phylum were identified, with Bacillariophyta being the most diverse with 35 species, followed by Chlorophyta with 26; the Euglenozoa, Cyanobacteria and Miozoa had 16, 6 and 3 species respectively; while the Phylum Cryptista and Ochrophyta only presented one species. The most frequent taxa were *Chlorella* sp., *Desmodesmus protuberans*, *Stephanocyclus meneghinianus* and *Gomphonema* sp., found in the six sampled points; On the other hand, the most abundant were *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* with 1120 cells/mL, *S. meneghinianus* and *Aulacoseira granulata* with 960 and 625 cells/mL respectively; likewise, *Microcystis aeruginosa* with 490 cells/mL. **Conclusions.** 25 new records were observed for the study area. Species of the Phylum Bacillariophyta and Chlorophyta dominated. *M. aeruginosa*, a species that causes harmful algal blooms, was recorded, but in small quantities. Differential distribution of the species was observed, despite the physical and chemical stability throughout the sampled points.

**Keywords.** Wastewater, distribution and abundance, microalgae, Bacillariophyta, Chlorophyta.

## INTRODUCCIÓN

En general las microalgas son organismos acuáticos de unas cuantas micras; en su mayoría fotoautótrofos, aunque algunas especies pueden presentar un metabolismo mixótrofo o heterótrofo (Brennan & Owende, 2010; Ruiz, 2011; Jbari, 2012).

Cuentan con una alta eficiencia en la fijación del CO<sub>2</sub>, incluso hasta cuatro veces superior a la de las plantas terrestres (Bermeo, 2011), de igual forma colaboran en la liberación de oxígeno, el cual es vital para la mayoría de los seres vivos (Martínez, 2015; Jbari, 2012). Las microalgas no son exclusivas de ambientes acuáticos, por lo que existen especies que pueden vivir en ambientes terrestres y aéreos y en condiciones extremas como: cavernas, suelos desérticos, hielos o nieves, lagos hipersalinos, ácidos, alcalinos y con elevadas temperaturas (Gómez, 2007).

Las microalgas tienen gran importancia en el tratamiento de aguas residuales provenientes de zonas urbanas, industriales o agrícolas, este tipo de aguas son ricas en carbono, nitrógeno y fósforo, los cuales son aprovechados por estos organismos para su crecimiento (González *et al.*, 1992; Jbari, 2012), por lo que a través de su consumo, reducen la concentración de nutrientes, lo que contribuyen a la depuración del agua y a la liberación de oxígeno que es aprovechado por otros organismos acuáticos y terrestres (Méndez *et al.*, 2010; Codina *et al.*, 2012). Además, la biomasa resultante puede tener una gran variedad de usos, como biofertilizantes, suplementos alimenticios, productos farmacéuticos y cosméticos; (AST Ingeniería S. L., 2013; Hernández & Labbé, 2014).

Sobre el estudio florístico de las microalgas de Xochimilco, existen varios trabajos que dan información sobre su diversidad en ese cuerpo de agua y sirven de referencia como indicadores biológicos a través de conocer el nivel de estabilidad o cambio en su estructura comunitaria a lo largo del tiempo y del espacio, asociada a cambios ambientales y climáticos. Los grupos algales predominantes en este sitio son: Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanoprocaryota, Pyrrophyta, Euglenophyta

y Chrysophyta (Sámano-Bishop, 1933; Flores, 1980; Reynoso, 1986; Santos, 2004; Velasco, 2004; Hernández, 2007; Figueroa *et al.*, 2008 y 2015; López *et al.*, 2015 y Tavera *et al.*, 2018). Considerando la importancia de las microalgas, el objetivo planteado en este trabajo fue, conocer la composición y distribución de la ficoflora asociada a un vertedero proveniente de PTAR Cerro de la Estrella, sobre un canal de la zona chinampera de Xochimilco, Ciudad de México y su relación con algunas variables físicas y químicas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema lacustre de Xochimilco se encuentra al sur de la Ciudad de México, entre las coordenadas geográficas: 19° 00' y 19° 20' Latitud Norte; 99° 00' y 99° 16' Longitud Oeste, con una superficie aproximada de 2 657 ha, y una altitud de entre 2240 a 2500 msnm (Arcos *et al.*, 2002; Abeja, 2011; GDF, 2013). El clima es templado subhúmedo, con lluvias en verano y con una temperatura media anual que varía entre 8 a 18°C. La precipitación pluvial promedio es de 620 mm/año, las lluvias más abundantes se presentan entre los meses de junio y septiembre y las mínimas de diciembre a febrero (Molina, 2009).

Xochimilco tiene una longitud aproximada de 203 km de canales interconectados, entre los más importantes se encuentran el de Cuemanco, el Nacional, Chalco, del Bordo, Apatlaco, San Sebastián, Apampilco, Texhuilo y Japón. Las principales lagunas son Tlilac, del Toro, Huetzalín, Apampilco, Texhuilo, además del Lago de conservación de flora y fauna de San Gregorio Atlapulco (GDF, 2006).

El área de estudio se localiza en el antiguo canal de Cuemanco, donde en el efluente proveniente de la Planta de tratamiento de agua residual (PTAR) Cerro de la Estrella se establecieron seis puntos de muestreo: 1) en el efluente de la PTAR, 2) en la caída de agua de este sitio que conecta a un canal, los siguientes puntos se colocaron a distancias conocidas: 3) 10 m, 4) 20 m 5) 40 m y 6) 60 m (Fig. 1).

Para conocer la composición de las microalgas se tomaron dos tipos de muestras, las primeras para análisis cuantitativo, se tomaron con ayuda de una botella Van Dorn, se guardaron en frascos de 500 mL y se les añadió lugol al 1% final; en cuanto a las segundas, para análisis cualitativo se empleó una red de arrastre con abertura de malla de 54 µm, estas muestras se depositaron en frascos ámbar de 30 mL y se les agregó formalina al 4% final. De cada punto se registraron datos de pH mediante un potenciómetro marca HANNA, temperatura y conductividad con una sonda YSI, profundidad y turbidez con un disco de Secchi. Además, se tomaron 100 mL de agua para determinar en el laboratorio los nutrientes: nitritos (NO<sub>2</sub>), nitratos (NO<sub>3</sub>-), amonio (NH<sub>4</sub>+) y ortofosfatos (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) a partir de las técnicas basadas en APHA (1989), utilizando un Fotómetro Multiparamétrico HANNA, modelo HI 83200.

La revisión de muestras de microalgas se llevó a cabo en el laboratorio de Ficología y Fitofarmacología de la UAM Xochimilco, utilizando un microscopio óptico marca Zeiss modelo Axiostar. Se tomaron alícuotas de 0.1 mL y se revisaron con la técnica de barrido propuesta por Schwöerbel (1975), la cual consiste en localizar un punto de inicio y hacer la revisión en forma de "transectos", de cada muestra se revisaron las alícuotas necesarias hasta que no se observó ningún organismo nuevo. Se tomaron fotomicrografías de las distintas especies observadas y se les realizó conteos celulares con la misma técnica con el fin de conocer su distribución y abundancia.



**Figura 1.** Zona de estudio y puntos de muestreo (basado en Google Earth, 2020).

Para la identificación taxonómica de las especies se utilizaron las descripciones y claves de Bourrelly (1966, 1968, 1970), Whitford & Schumacher (1969), Ortega (1972, 1984), Figueroa & Moreno (2003), Figueroa *et al.* (2008), Valadez *et al.* (2010) y Guiry & Guiry (2022).

Para analizar las diferencias en los valores de las concentraciones de nutrientes y parámetros tomados *in situ* y los analizados en el laboratorio, de los puntos de muestreo, se obtuvo el coeficiente de variación; por otra parte, se realizó un análisis de correlación lineal para conocer que parámetros tomados en campo influyeron en la riqueza y abundancia de especies en cada punto de muestreo, ambos análisis se realizaron utilizando el programa Excel versión 2013.

## RESULTADOS

Se encontró un total de 88 especies (Figs. 2-4) pertenecientes a siete Phylum, 25 Órdenes, 36 Familias y 56 Géneros (Tablas 1, 2 y 3), siendo Bacillariophyta el Phylum más diverso con 35 especies, seguido de Chlorophyta con 26, mientras que los Phylum Euglenozoa, Cyanobacteria y Miozoa tuvieron 16, 6 especies respectivamente, por otra parte, los Phylum Ochrophyta y Cryptista solo presentaron una especie.

Del total de especies, las más frecuentes fueron las clorofitas *Chlorella* sp. Beyerinck [Beijerinck] y *Desmodesmus protuberans* (F.E. Fritsch & M.F.Rich) E.Hegewald y las diatomeas *Stephanocyclus meneghinianus* (Kützing) Kulikovskiy, Genkal & Kociolek y *Gomphonema* sp. Ehrenberg, encontrándose en los seis puntos muestreados.

En cuanto al número de organismos, las especies más abundantes fueron: *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* (Otto Müller) Simonsen con 1120 cél/mL, *S. meneghinianus* y *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen con 960 y 625 cél/mL respectivamente, pertenecientes al phylum Bacillariophyta y la Cyanobacteria: *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing con 490 cél/mL.

De los puntos muestreados, donde se registró la menor cantidad de especies fue el tomado directamente del vertedero con 16 (Fig. 5) mientras que el punto que presentó la mayor riqueza específica fue el ubicado a los 20 m de distancia del vertedero con 56 taxa.

### Parámetros físicos y químicos

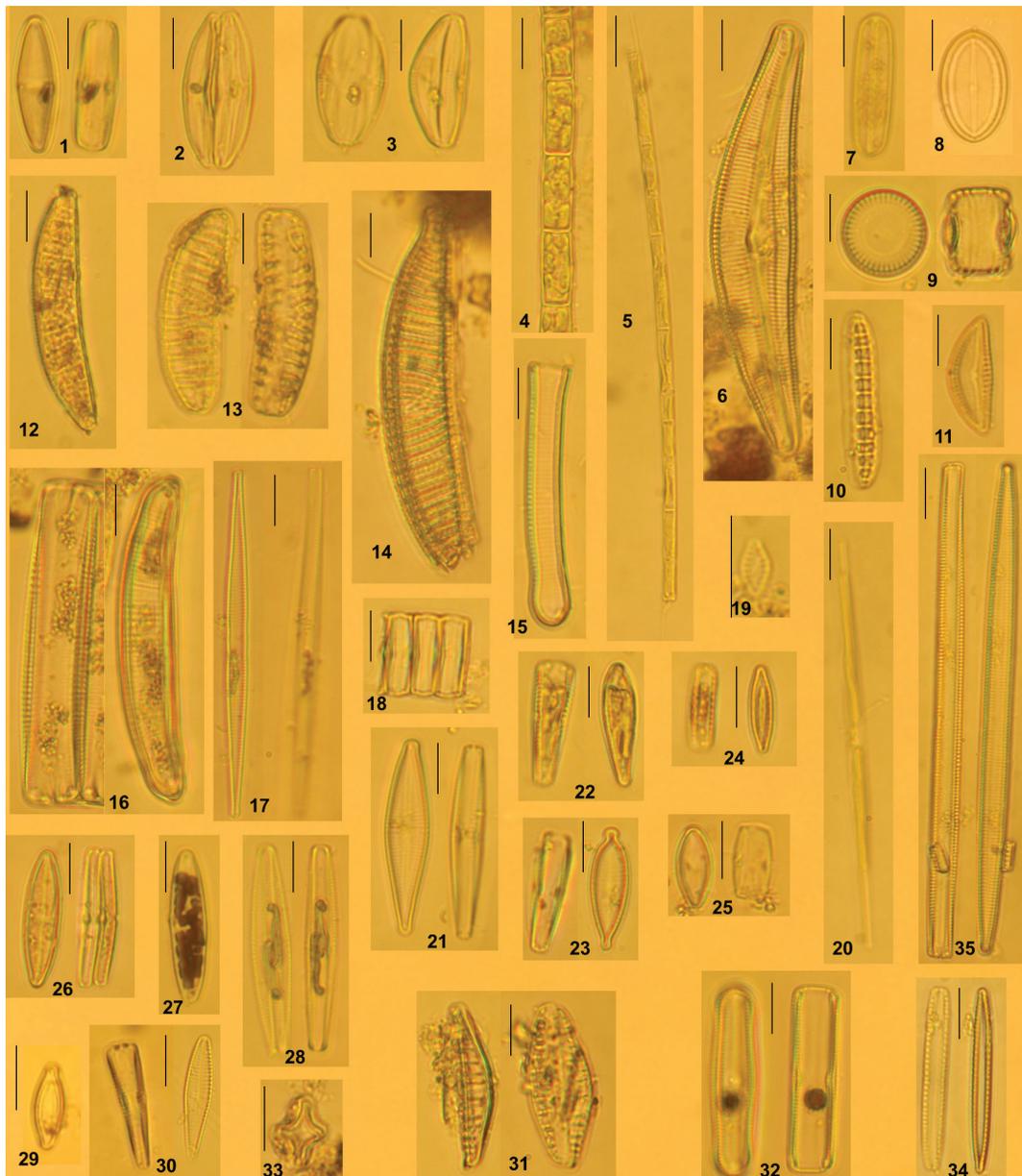
Los valores de los parámetros físicos y químicos tomados en campo se muestran en la Tabla 4. Se incluye el coeficiente de variación, el cual mostró que los parámetros fisicoquímicos monitoreados presentaron una proporción de variación baja en la mayoría de ellos (2-18%), a excepción del valor de la profundidad donde se obtuvo 37%.

La concentración de nitritos fue más alta en la muestra tomada directamente abajo del vertedero con 0.751 mg/L y la más baja a los 20 m con 0.621 mg/L. Los nitratos variaron de 6.9 y 14 mg/L, encontrándose de igual forma el valor más alto en la muestra directa debajo del vertedero y el más bajo a los 20 m; por el contrario, la concentración más baja de amonio se encontró en la muestra directa debajo del vertedero con 0.0129 mg/L y la más alta en la muestra a los 20 m con 0.0174 mg/L. Por otra parte, las concentraciones de ortofosfatos

variaron entre 5.4 y 7.1 mg/L, encontrándose el valor más bajo en la muestra tomada a los 40 m y la concentración más alta se registró en la muestra de 10 m (Fig. 6).

Con respecto a los valores de nitritos, nitratos y ortofosfatos obtenidos en las muestras se puede observar que al alejarse del vertedero estos disminuyen paulatinamente, a diferencia del amonio que muestra un comportamiento inverso.

Por otra parte, en cuanto a los valores del análisis de correlación lineal de la riqueza de especies, con respecto a los nitritos, nitratos y amonio tienen un valor más alto en comparación de la riqueza de especies con los parámetros físicos. En cambio, en cuanto a la abundancia, se observa que ésta tiene una correlación más alta con los nitritos y el amonio, así como con la conductividad (Tabla 5).



**Figura 2.** *Achnantheidium minutissimum*, 2. *Halamphora montana*, 3. *Amphora ovalis*, 4. *Aulacoseira granulata*, 5. *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*, 6. *Brebissonia lanceolata*, 7. *Caloneis bacillum*, 8. *Cocconeis placentula*, 9. *Stephanocyclus meneghinianus*, 10. *Denticula elegans*, 11. *Encyonema minutum*, 12. *Epithemia adnata*, 13. *Epithemia* cf. *muelleri*, 14. *Epithemia turgida*, 15. *Eunotia metamonodon*, 16. *Eunotia minor*, 17. *Ulnaria acus*, 18. *Staurosira* cf. *construens*, 19. *Staurosira venter*, 20. *Fragilaria dorsiventralis*, 21. *Gomphonema affine*, 22. *Gomphonema exilissimum*, 23. *Gomphonema lagenula*, 24. *Gomphonema* sp 1, 25. *Gomphonema* sp 2, 26. *Lemnicola hungarica*, 27. *Navicula* sp 1, 28. *Navicula* sp 2, 29. *Placoneis elginensis*, 30. *Rhoicosphenia abbreviata*, 31. *Rhopalodia gibberula*, 32. *Sellaphora pupula*, 33. *Staurosira construens*, 34. *Tabularia fasciculata*, 35. *Ulnaria ulna*. Barras = 10µm.

**Tabla 1.** Microalgas del Phylum Bacillariophyta del vertedero Cerro de la Estrella.

Orden	Familia	Género	Especie
Achnanthales	Cocconeidaceae	Cocconeis	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg
Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	Aulacoseira	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen <i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (Otto Müller) Simonsen
Bacillariales	Bacillariaceae	Denticula	<i>Denticula elegans</i> Kützing
Cocconeidales	Achnanthidiaceae	Achnanthidium	<i>Achnanthidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki
		Lemnicola	<i>Lemnicola hungarica</i> (Grunow) Round & Basson
Cymbellales	Cymbellaceae	Brebissonia	<i>Brebissonia lanceolata</i> (C.Agardh) R.K.Mahoney & Reimer
	Gomphonemataceae	Encyonema	<i>Encyonema minutum</i> (Hilse) D.G.Mann
		Gomphonema	<i>Gomphonema lagenula</i> Kützing <i>Gomphonema affine</i> Kützing <i>Gomphonema exilissimum</i> (Grunow) Lange-Bertalot & E.Reichardt <i>Gomphonema</i> sp 1 Ehrenberg <i>Gomphonema</i> sp 2 Ehrenberg
		Placoneis	<i>Placoneis elginensis</i> (W.Gregory) E.J.Cox
	Rhoicospheniaceae	Rhoicosphenia	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C. Agardh) Lange-Bertalot
Eunotiales	Eunotiaceae	Eunotia	<i>Eunotia metamonodon</i> Lange-Bertalot <i>Eunotia minor</i> (Kützing) Grunow
Fragilariales	Fragilariaceae	Fragilaria	<i>Fragilaria dorsiventralis</i> (Otto Müller) Lange-Bertalot
	Staurosiraceae	Staurosira	<i>Staurosira construens</i> Ehrenberg <i>Staurosira</i> cf. <i>construens</i> Ehrenberg <i>Staurosira venter</i> (Ehrenberg) Cleve & J.D. Möller
Licmophorales	Ulnariaceae	Ulnaria	<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère <i>Ulnaria acus</i> (Kützing) Aboal
		Tabularia	<i>Tabularia fasciculata</i> (C.Agardh) D.M Williams & Round
Naviculales	Naviculaceae	Caloneis	<i>Caloneis bacillum</i> (Grunow) Cleve
		Navicula	<i>Navicula</i> sp 1 Ehrenberg <i>Navicula</i> sp 2 Ehrenberg
	Sellaphoraceae	Sellaphora	<i>Sellaphora pupula</i> (Kützing) Mereschkovsky
	Amphipleuraceae	Halamphora	<i>Halamphora montana</i> (Krasske) Levkov
Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	Epithemia	<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson <i>Epithemia</i> cf. <i>muelleri</i> Fricke <i>Epithemia turgida</i> (Ehrenberg) Kützing
		Rhopalodia	<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehrenberg) Otto Müller
Thalassiosirales	Thalassiosiraceae	Stephanocyclus	<i>Stephanocyclus meneghinianus</i> (Kützing) Kulikovskiy, Genkal & Kociolek
Thalassiosiphysales	Catenulaceae	Amphora	<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing

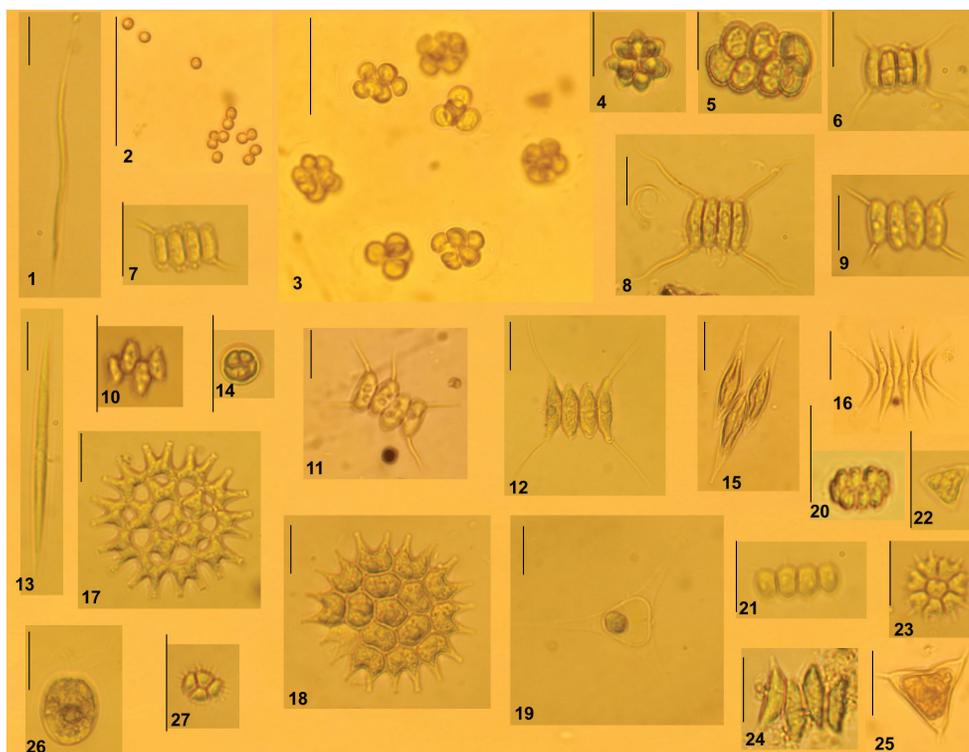
## DISCUSIÓN

Según los resultados, se determinó un total de 88 especies de microalgas, de las cuales 55 han sido reportadas previamente por diversos autores, en distintos sitios de los canales de Xochimilco y en diferentes temporadas; 33 son nuevos registros para la zona de estudio, lo que indica que aún no se conoce la totalidad de las especies en este lugar, lo cual puede deberse a que con el tiempo las condiciones del ambiente van cambiando, propiciando cambios en la composición, distribución y abundancia de las especies microalgales y a la introducción de nuevas especies provenientes de otros sitios como es el caso de los efluentes de aguas tratadas.

El phylum Bacillariophyta fue el que presentó mayor riqueza con 35 especies, de las cuales 25 han sido reportadas anteriormente en los canales de Xochimilco. La riqueza de especies de este phylum fue alta en comparación con los estudios realizados por Flores (1980), Reynoso (1986), Orozco (2011), Buendía *et al.* (2015), López *et al.* (2015) y Tavera *et al.* (2018), quienes registraron entre seis y 20 especies. Por su parte, es similar a lo indicado por Santos (2004), quien encontró 39 especies e inferior a lo encontrado por Figueroa *et al.* (2008), quienes reportaron

56 especies. Al comparar las especies encontradas con lo reportado por otros autores se observó que: *Cocconeis placentula* Ehrenberg, *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Gomphonema affine* Kützing, *Rhoicosphenia abbreviata* (C. Agardh) Lange-Bertalot, *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère, *Epithemia turgida* (Ehrenberg) Kützing, *Stephanocyclus meneghinianus* (Kützing) Kulikovskiy, Genkal & Kociolek y *Amphora ovalis* (Kützing) Kützing, son frecuentes y han sido reportadas anteriormente en diferentes estudios realizados en Xochimilco (Flores, 1980; Reynoso, 1986; Figueroa *et al.*, 2008; Orozco, 2011; Buendía *et al.*, 2015; López *et al.*, 2015; Tavera *et al.*, 2018). Lo anterior permite señalar que estas diatomeas son euribiontes, ya que han podido crecer en sistemas de depuración de aguas residuales como en ambientes naturales donde las condiciones limnológicas son diferentes.

En cuanto al phylum Chlorophyta se registraron 26 especies, de las cuales 22 han sido reportadas anteriormente para los canales de Xochimilco, se comparó la riqueza de especies con lo reportado por Reynoso (1986), González (1991) y López *et al.* (2015), observando que la riqueza encontrada en este trabajo es mayor, dichos autores encontraron 10, 19 y siete especies respectivamente; sin embargo, es inferior a lo que reportan Sámano-Bishop (1933), Flores (1980), Velasco (2004)



**Figura 3.** *Ankistrodesmus falcatus*, **2.** *Chlorella* sp, **3.** cf. *Coelastrum microporum*, **4.** *Coelastrum pseudomicroporum*, **5.** *Comasiella arcuata* var. *platydisca*, **6.** *Desmodesmus abundans*, **7.** *Desmodesmus armatus* var. *bicaudatus*, **8.** *Desmodesmus armatus* var. *longispina*, **9.** *Desmodesmus communis*, **10.** *Desmodesmus denticulatus*, **11.** *Desmodesmus opoliensis*, **12.** *Desmodesmus protuberans*, **13.** *Monoraphidium griffithii*, **14.** *Oocystis borgei*, **15.** *Pectinodesmus javanensis*, **16.** *Pectinodesmus pectinatus* f. *tortuosus*, **17.** *Pediastrum duplex*, **18.** *Pseudopediastrum boryanum* var. *longicorne*, **19.** *Pteromonas aculeata*, **20.** *Comasiella* cf. *arcuata*, **21.** *Scenedesmus ellipticus*, **22.** *Staurastrum* sp, **23.** *Stauridium tetras*, **24.** *Tetradesmus dimorphus*, **25.** *Tetraëdriella regularis*, **26.** cf. *Tetraselmis cordiformis*, **27.** *Tetrastrum staurogeniiforme*. Barras = 10µm.

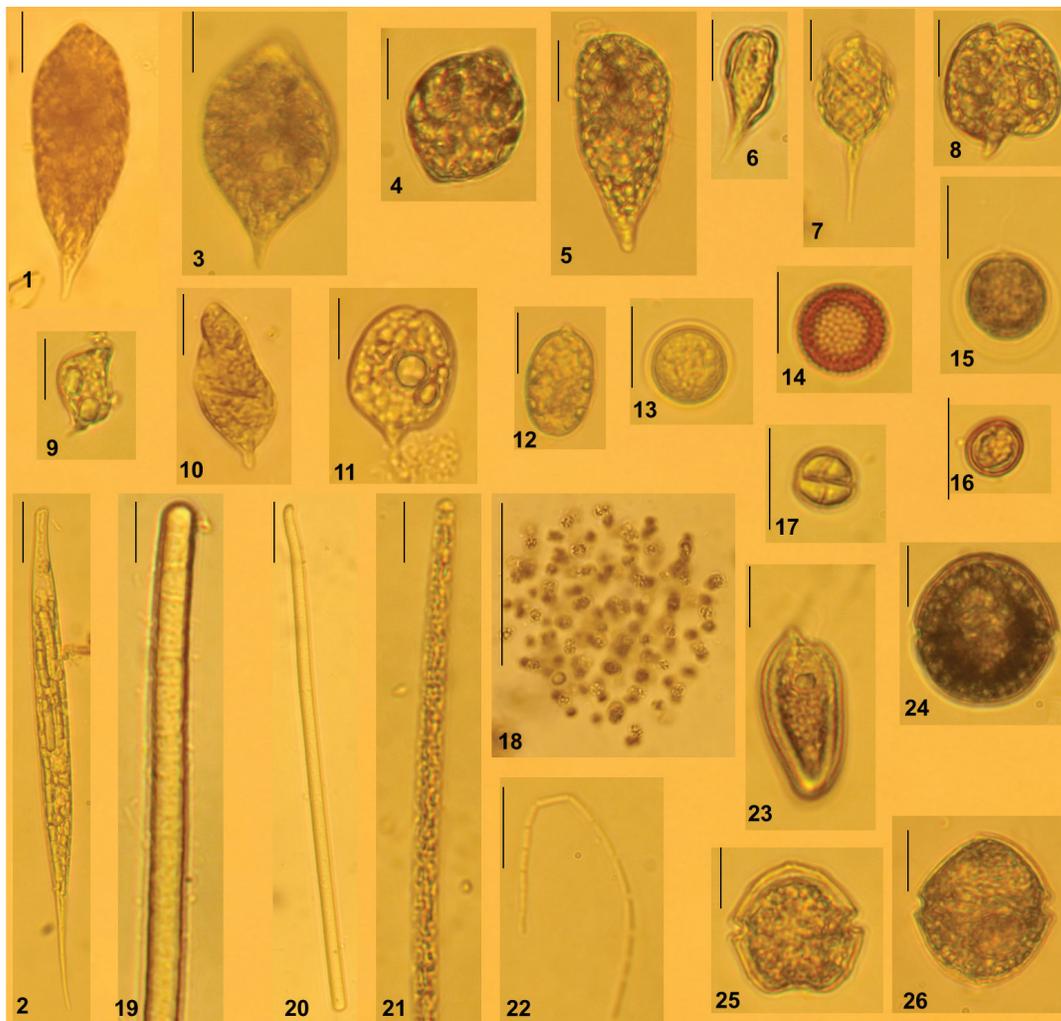
y Figueroa *et al.* (2008), quienes encontraron entre 34 y 48 especies. El género *Desmodesmus* es el que predominó en este estudio con siete especies, lo cual se explica por tratarse de ambientes lénticos someros con alta cantidad de nutrientes (Comas *et al.*, 2007). Cabe mencionar que se encontraron cuatro nuevos registros para la zona de estudio (*Staurastrum* sp. Meyen ex Ralfs, *Comasiella arcuata* var. *platydisca* (G.M.Smith) E.Hegewald & M.Wolf, *Pectinodesmus pectinatus* f. *tortuosus* (Skuja) E.Hegewald y *Scenedesmus ellipticus* Corda) haciendo una contribución al conocimiento de la ficoflora de este lugar.

Para el phylum Euglenozoa se encontraron 16 especies, mayor a lo reportado en ambientes lóuticos de Oaxaca (Moreno, 2009) y en la laguna de Chignahuapan, Estado de México (Valadez *et al.*, 2010). De las 16 especies encontradas, seis fueron reportadas previamente en los

canales de Xochimilco por Salas (1963), López (1972), Pérez & Salas (1961) y Figueroa *et al.* (2015); las 10 especies restantes son nuevos registros para la zona de estudio (*Euglena próxima* (P.A.Dangeard) M.S. Bennett & Triemer, *Monomorphyina aenigmatica* (Drezepolski) Nudelman & Triemer, *M. pyrum* (Ehrenberg) Mereschkowsky, *Trachelomonas abrupta* Svirenko [Swirenko], *T. verrucosa* A.C.Stokes, *T. volvocinopsis* Svirenko, *Trachelomonas* sp. Ehrenberg, *Lepocinclis acus* (O.F.Müller) B.Marin & Melkonian, *Phacus* cf. *raciborskii* Drezepolski, *P. orbicularis* K.Hübner). Además, se pudo observar que este phylum estuvo dominado por los géneros *Trachelomonas*, *Lepocinclis* y *Phacus*, lo cual corresponde a reservorios eutróficos previamente estudiados en México (Garduño *et al.*, 2011); así como los resultados de Figueroa *et al.* (2015) para los canales de Xochimilco.

**Tabla 2.** Microalgas del Phylum Chlorophyta del vertedero Cerro de la Estrella.

Orden	Familia	Género	Especie	
Chlamydomonadales	Phacotaceae	Pteromonas	<i>Pteromonas aculeata</i> Lemmermann	
Chlorellales	Chlorellaceae	Chlorella	<i>Chlorella</i> sp Beyerinck [Beijerinck]	
	Oocystaceae	Oocystis	<i>Oocystis borgei</i> J.W.Snow	
Chlorodendrales	Chlorodendraceae	Tetraselmis	cf. <i>Tetraselmis cordiformis</i> (H.J.Carter) F.Stein	
Desmidiales	Desmidiaceae	Staurastrum	<i>Staurastrum</i> sp Meyen ex Ralfs	
		Pediastrum	<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	
	Hydrodictyaceae	Pseudopediastrum	<i>Pseudopediastrum boryanum</i> var. <i>longicorne</i> (Reinsch) Tsarenko	
		Stauridium	<i>Stauridium tetras</i> (Ehrenberg) E.Hegewald	
		Coelastrum	cf. <i>Coelastrum microporum</i> Nägeli <i>Coelastrum pseudomicroporum</i> Korshikov	
	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	Comasiella	<i>Comasiella arcuata</i> var. <i>platydisca</i> (G.M.Smith) E.Hegewald & M.Wolf
				<i>Comasiella</i> cf. <i>arcuata</i> (Lemmermann) E.Hegewald, M.Wolf, Al.Keller, Friedl & Krienitz
<i>Desmodesmus abundans</i> (Kirchner) E.H.Hegewald				
<i>Desmodesmus armatus</i> var. <i>bicaudatus</i> (Guglielmetti) E.H.Hegewald				
<i>Desmodesmus armatus</i> var. <i>longispina</i> (Chodat) E.Hegewald				
Desmodesmus			<i>Desmodesmus communis</i> (E.Hegewald) E.Hegewald	
<i>Desmodesmus denticulatus</i> (Lagerheim) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald				
<i>Desmodesmus opoliensis</i> (P.G.Richter) E.Hegewald				
<i>Desmodesmus protuberans</i> (F.E.Fritsch & M.F.Rich) E.Hegewald				
Pectinodesmus			<i>Pectinodesmus pectinatus</i> f. <i>tortuosus</i> (Skuja) E.Hegewald	
<i>Pectinodesmus javanensis</i> (Chodat) E.Hegewald, C.Bock & Krienitz				
Scenedesmus	<i>Scenedesmus ellipticus</i> Corda			
Tetradesmus	<i>Tetradesmus dimorphus</i> (Turpin) M.J.Wynne			
Tetrastrum	<i>Tetrastrum staurogeniiforme</i> (Schröder) Lemmermann			
Selenastraceae	Ankistrodesmus	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs		
	Monoraphidium	<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Komárková-Legnerová		



**Figura 4.** *Euglenaformis proxima*, 2. *Lepocinclis acus*, 3. *Lepocinclis caudata*, 4. *Lepocinclis fusiformis*, 5. *Lepocinclis teres*, 6. *Monomorphina aenigmatica*, 7. *Monomorphina pyrum*, 8. *Phacus acuminatus*, 9. *Phacus cf. inflexus*, 10. *Phacus cf. raciborskii*, 11. *Phacus orbicularis*, 12. *Trachelomonas abrupta*, 13. *Trachelomonas sp.*, 14. *Trachelomonas verrucosa*, 15. *Trachelomonas volvocina*, 16. *Trachelomonas volvocinopsis*, 17. *Chroococcus turgidus*, 18. *Microcystis aeruginosa*, 19. *Oscillatoria ornata*, 20. *Phormidium sp.*, 21. *Planktothrix agardhii*, 22. *Romeria victoriae*, 23. *Cryptomonas sp.*, 24. *Gymnodinium sp.*, 25. *Glochidinium penardiforme*, 26. *Peridinium cf. volzii*. Barras = 10µm.

En el phylum Cyanobacteria se encontraron seis especies, al respecto Murguía (1965) encontró dos, Reynoso (1986) reportó tres, Sámano-Bishop (1933) encontró siete; mientras que Flores (1980) y González (1991), encontraron 29 y 19 especies respectivamente, lo cual es mayor a lo reportado en este trabajo. Cabe mencionar que una de las especies determinadas en este estudio fue *M. aeruginosa*, la cual suele producir microcistina (sustancia hepatotóxica) y es indicadora de ambientes con alta concentración de nutrientes, como sucede en hábitat eutróficos (Carvalho *et al.*, 2013); sin embargo, solo se encontró en dos puntos de muestreo, con valores de hasta 490 cél/mL, es decir que deberá de llevarse un control de estas condiciones ya que constituye un peligro potencial para la vida acuática y para los habitantes de la zona por lo metabolitos que producen este tipo de organismos (Crettaz, 2018).

En el phylum Miozoa solo se registraron tres especies, las cuales han sido reportadas con anterioridad en los canales de Xochimilco (Figueroa & Moreno (2003), Hernández (2007) y Figueroa (2009).

Para el Phylum Ochrophyta solo se encontró una especie, *Tetraëdriella regularis* (Kützing) Fott, la cual se reubicó taxonómicamente por lo que se incluía anteriormente en el Phylum Chlorophyta, además esta especie ha sido reportada previamente en los canales de Xochimilco (Figueroa *et al.*, 2008); por su parte, el Phylum Cryptista igualmente solo presentó una especie, *Cryptomonas sp.* Ehrenberg la cual no ha tenido reportes para los canales de Xochimilco, sin embargo, López *et al.* (2015), reportan una especie para este Phylum, *Cryptomonas ovata* Ehrenberg.

**Tabla 3.** Microalgas de los Phylum Euglenozoa, Cyanobacteria, Miozoa, Cryptista y Ochrophyta del vertedero Cerro de la Estrella.

Phylum	Orden	Familia	Género	Especie
Euglenozoa	Euglenales	Euglenaceae	Euglenaformis	<i>Euglenaformis proxima</i> (P.A.Dangeard) M.S.Bennett & Triemer
			Monomorphina	<i>Monomorphina aenigmatica</i> (Drezepolski) Nudelman & Triemer
				<i>Monomorphina pyrum</i> (Ehrenberg) Mereschkowsky
			Trachelomonas	<i>Trachelomonas abrupta</i> Svirenko [Swirenko]
				<i>Trachelomonas</i> sp Ehrenberg
		<i>Trachelomonas verrucosa</i> A.C.Stokes		
		Phacaceae	Trachelomonas	<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg
				<i>Trachelomonas volvocinopsis</i> Svirenko
				<i>Lepocinclis acus</i> (O.F.Müller) B.Marin & Melkonian
			Lepocinclis	<i>Lepocinclis caudata</i> (A.M. da Cunha) Pascher
<i>Lepocinclis fusiformis</i> (H.J.Carter) Lemmermann				
Phacus	<i>Lepocinclis teres</i> (F.Schmitz) Francé			
	<i>Phacus acuminatus</i> Stokes			
	<i>Phacus</i> cf. <i>inflexus</i> (I.Kisselev) Pochmann			
	<i>Phacus</i> cf. <i>raciborskii</i> Drezepolski			
Cyanobacteria	Chroococcales	Chroococcaceae	Chroococcus	<i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli
		Microcystaceae	Microcystis	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	Oscillatoria	<i>Oscillatoria ornata</i> Kützing ex Gomont
		Phormidium	<i>Phormidium</i> sp Kützing ex Gomont	
	Synechococcales	Microcoleaceae	Planktothrix	<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek
		Romeriaceae	Romeria	<i>Romeria victoriae</i> Komárek & Cronberg
Miozoa	Gymnodiniales	Gymnodiniaceae	Gymnodinium	<i>Gymnodinium</i> sp F.Stein
	Peridinales	Peridiniaceae	Glochidinium	<i>Glochidinium penardiforme</i> (Er.Lemmermann) Boltovskoy
			Peridinium	<i>Peridinium</i> cf. <i>volzii</i> Lemmermann
Cryptista	Cryptomonadales	Cryptomonadaceae	Cryptomonas	<i>Cryptomonas</i> sp Ehrenberg
Ochrophyta	Goniochloridales	Goniochloridaceae	Tetraëdriella	<i>Tetraëdriella regularis</i> (Kützing) Fott

Con respecto a la distribución de las especies, en la muestra de la salida del vertedero se registraron pocas especies, lo que podría deberse a que estas aguas provienen directamente de la PTAR Cerro de la Estrella y han sido cloradas previamente debido al tratamiento terciario que se les da a este tipo de aguas, lo cual impide el crecimiento de varios organismos entre ellos las microalgas (Barrado, 2016). Por el contrario, a los 20 m de distancia del vertedero se observó la mayor diversidad de especies, lo que se puede atribuir a que en este punto las condiciones ambientales tanto físicas como químicas se estabilizan, además de ser apropiadas para el desarrollo de estos organismos.

Del total de especies 23 fueron raras lo que significa que solo se les encontró en un solo sitio y con muy pocos organismos entre, esto

puede deberse a que solo en esos sitios existieron las condiciones ambientales adecuadas para su desarrollo. Otro factor para considerar se refiere a que este tipo de especies pueden ser estacionales, por lo que se recomienda hacer muestreos en distintas épocas del año para observar su dinámica espacio-temporal, así como de las condiciones ambientales que favorecen su establecimiento.

En cuanto a los parámetros tomados en campo, se pudo observar que la mayoría de ellos no varió significativamente, únicamente la profundidad tuvo una variación mayor al 30%, la cual fue disminuyendo conforme a la distancia, una de las razones puede ser el movimiento que genera la caída del agua en el lago, ya que a mayor distancia el movimiento del agua es menor, lo que favorece un mayor depósito de sedimentos.

**Tabla 4.** Valores de los factores físicos y químicos en el vertedero Cerro de la Estrella y en los diferentes puntos de muestreo.

	Turbidez (cm)	Profundidad (cm)	Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm)	pH
<b>Directa</b>	ND	ND	21.5	711	8.3
<b>Caída</b>	70	70	21.7	772	8
<b>10m</b>	70	150	21.6	772	7.8
<b>20m</b>	85	95	21.8	775	8
<b>40m</b>	72	92	22.1	784	7.9
<b>60m</b>	50	60	22.5	787	7.7
<b>Desviación estándar</b>	12.52	34.89	0.37	28.06	0.20
<b>Media aritmética</b>	69.4	93.4	21.86	766.83	7.95
<b>Coficiente de Variación</b>	0.18	0.37	0.02	0.04	0.03
<b>CV expresado en porcentaje (%)</b>	18	37	2	4	3

Sobre el comportamiento de los compuestos nitrogenados en el sistema, se pudo observar una mayor concentración de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) en el sitio del Vertedero (14 mg/L), y una disminución conforme los sitios estaban más alejados de la caída de agua, esto pudo deberse a la mayor densidad de microalgas encontradas en estos sitios, las cuales pudieron estar aprovechando este nutriente, ya que los nitratos es una de las principales formas de nitrógeno que absorben las microalgas (Grobelaar, 2004).

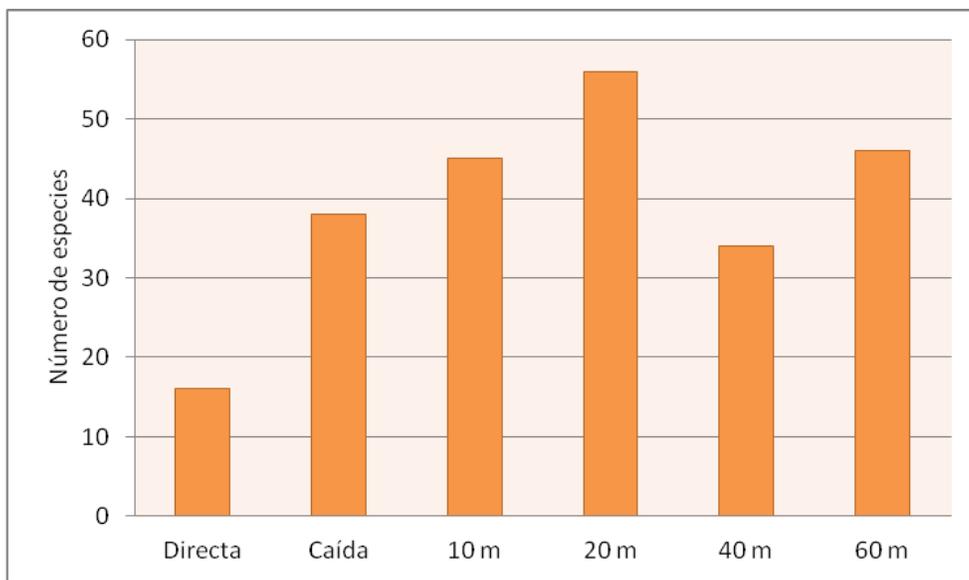
Sin embargo, en el punto tomado a los 40 m se presentó un ligero aumento en la concentración de nitratos, lo cual pudo deberse a algún factor externo entre ellos alguna descarga clandestina de aguas residuales o el escurrimiento de tierras agrícolas debido a que en ciertas ocasiones se utilizan fertilizantes agrícolas con compuestos nitrogena-

dos, alterando las concentraciones de este nutriente (Vázquez & Ríos, 2004; Pedrozo & Ramírez, 2020).

Lo anterior se complementa con el análisis de correlación lineal, debido a que los valores de correlación más altos se presentaron entre los nitratos y el amonio sobre la riqueza de especies, lo cual hace notar que la presencia y concentración de estos compuestos favorece el desarrollo de varias especies, ya que las microalgas los absorben y utilizan de manera directa (Tam & Wong, 1996).

Con base en lo anterior se puede concluir lo siguiente:

La comunidad algal estuvo compuesta por un total de 88 especies correspondientes a los phylum Bacillariophyta, Chlorophyta, Euglenozoa, Cyanobacteria, Miozoa, Ochrophyta y Cryptista.

**Figura 5.** Número de especies en cada punto de muestreo.

**Tabla 5.** Análisis de correlación lineal de parámetros físicos y químicos sobre la riqueza y abundancia de especies.

Parámetro	Correlación con la riqueza de especies	Correlación con la abundancia de organismos
NO <sub>2</sub> (mg/L)	0.7584	0.6497
NO <sub>3</sub> (mg/L)	0.8485	0.5187
NH <sub>4</sub> (mg/L)	0.9059	0.7887
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/L)	0.0009	0.0704
Temperatura (°C)	0.1295	0.00001
Conductividad (µS/cm <sup>-1</sup> )	0.6184	0.3647
pH	0.4663	0.0848
Turbidez (cm)	0.6920	0.7997
Profundidad (cm)	0.4803	0.4484

Se determinaron 25 nuevos registros para la zona de estudio.

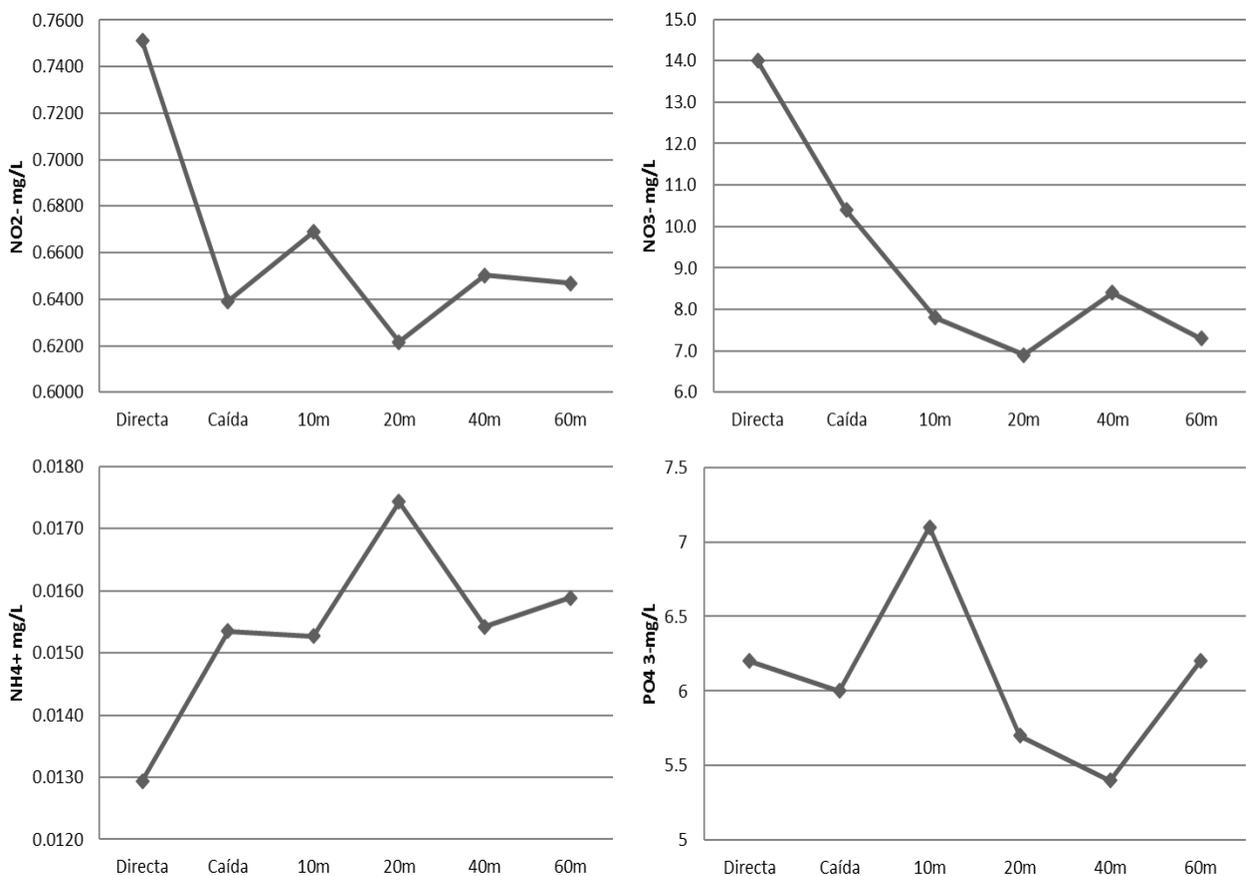
La comunidad de microalgas se compone principalmente por especies de los phylum Bacillariophyta y Chlorophyta.

Las especies más frecuentes fueron *Stephanocyclus meneghinianus*, *Gomphonema* sp., *Chlorella* sp. y *Desmodesmus protuberans*.

Las especies más abundantes fueron las diatomeas *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*, *Stephanocyclus meneghinianus*, *Aulacoseira granulata* y la cianoprocariota *Microcystis aeruginosa*.

Los parámetros físicos y químicos tomados en campo no variaron significativamente a lo largo de los puntos muestreados.

Los nitratos y el amonio son los nutrientes que mayor correlación tuvieron sobre la riqueza de especies



**Figura 6.** Concentraciones de nitritos (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y ortofosfatos (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) en los diferentes puntos de muestreo.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco y a la maestría en Ecología Aplicada por el apoyo en el desarrollo de esta investigación.

## REFERENCIAS

- ABEJA, O. 2011. Biomarcadores de daño temprano en *Ankistrodesmus falcatus* y *Hyalella azteca* como indicadores de estrés en tres áreas (urbana, turística y agrícola), de la zona lacustre de Xochimilco. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México. 110 p. <http://repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/8450>
- APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION & WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION). 1989. Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. Decimoséptima edición. Washington, D. C. EUA. 1469 p. [https://betastatic.fishersci.com/content/dam/fishersci/en\\_US/documents/programs/scientific/technical-documents/white-papers/apha-water-testing-standard-methods-introduction-white-paper.pdf](https://betastatic.fishersci.com/content/dam/fishersci/en_US/documents/programs/scientific/technical-documents/white-papers/apha-water-testing-standard-methods-introduction-white-paper.pdf)
- ARCOS, R., DÍAZ, G. & DOMÍNGUEZ, A. 2002. Macrofitas acuáticas: ¿Contaminantes o soluciones de la contaminación por metales pesados? XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Cancún, México. 8 p. <https://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/ii-007.pdf>
- AST INGENIERÍA S. L. 2013. Aplicaciones de las microalgas: Estado de la técnica. Parque Científico y Tecnológico de Gijón. España. 72 p. Disponible en: <http://proyectomalgas.com/wp-content/uploads/2014/04/guiamalgas.pdf>
- BARRADO, M. 2016. Eliminación de microalgas de las aguas mediante métodos físicos y químicos. (Tesis doctoral). Departamento de ingeniería Química y Química Física. Universidad de Extremadura. 329 pp. [https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/5583/1/TDUEX\\_2017\\_Barrado\\_Moreno.pdf](https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/5583/1/TDUEX_2017_Barrado_Moreno.pdf)
- BERMEO, L. 2011. Estudio del cosechado de cultivos de microalgas en agua residual mediante técnicas de centrifugado. Universidad Técnica Particular de Loja. España. 54 p. <https://docplayer.es/9881046-Estudio-del-cosechado-de-cultivos-de-microalgas-en-agua-residual-mediante-tecnicas-de-centrifugado.html>
- BOURRELLY, P. 1966. *Les algues d'eau douce, Initiation à la Systématique. Tome 1: Les algues vertes*. Editions N. Boubée y Cie. París. 512 p.
- BOURRELLY, P. 1968. *Les algues d'eau douce, Initiation à la systématique. Tome II: algues jaunes et brunes, Chrysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomées*. Editions N. Boubée y Cie. París. 438 p.
- BOURRELLY, P. 1970. *Les algues d'eau douce, Initiation à la systématique. Tome III: Les algues bleues et rouges Les Eugleniens, Peridiniens et Cryptomonadines*. Editions N. Boubée y Cie. París. 512 p.
- BRENNAN, L. & OWENDE, P. 2010. Biofuels from microalgae-A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14: 557-577. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032109002408>
- BUENDÍA, M., TAVERA, R. & NOVELO, E. 2015. Florística y ecología de diatomeas bentónicas de la zona lacustre de Xochimilco-Tláhuac, México. *Botanical Sciences* 93(3): 531-558. <https://www.scielo.org.mx/pdf/bs/v93n3/v93n3a11.pdf>
- CARVALHO, M., AGUJARO, L., PIRES, D. & PICOLI, C. 2013. Manual de Cianobacterias Planctónicas: Legislação, Orientações para o Monitoramento e Aspectos Ambientais. Governo do Estado Sao Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. 56 p. <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/manual-cianobacterias-2013.pdf>
- CODINA, M., GARCÍA, C., BARÓN, J., DA SILVA, S. & BOSCH, J. 2012. Planta piloto de microalgas para mejoramiento del tratamiento efluentes urbanos en Catamarca, Argentina. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 11 p. <https://docplayer.es/8266371-Planta-piloto-de-microalgas-para-mejoramiento-del-tratamiento-efluentes-urbanos-en-catamarca-argentina.html>
- COMAS, A., NOVELO, E. Y TAVERA, R. 2007. Coccal green algae (Chlorophyta) in shallow ponds in Veracruz, México. *Algological Studies*. 124, 29-69. [https://www.researchgate.net/publication/233505206\\_Coccal\\_green\\_algae\\_Chlorophyta\\_in\\_shallow\\_ponds\\_in\\_Veracruz\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/233505206_Coccal_green_algae_Chlorophyta_in_shallow_ponds_in_Veracruz_Mexico)
- CRETZ, M. 2018. Estudio del crecimiento de *Microcystis aeruginosa* y de la producción de microcystina en cultivo de laboratorio. Tesis de doctorado. Argentina. 172 pp. [https://www.researchgate.net/publication/324495501\\_Estudio\\_del\\_crecimiento\\_de\\_Microcystis\\_aeruginosa\\_y\\_de\\_la\\_produccion\\_de\\_Microcystina\\_en\\_cultivo\\_de\\_laboratorio](https://www.researchgate.net/publication/324495501_Estudio_del_crecimiento_de_Microcystis_aeruginosa_y_de_la_produccion_de_Microcystina_en_cultivo_de_laboratorio)
- FIGUEROA, M. 2009. *Algas de la Cuenca de México*. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 81 p.
- FIGUEROA, M. & MORENO, J. 2003. Dinoflagelados dulceacuícolas de México. Cap. 4: 85-102. En: Barreiro M., Meave M., Signoret M. y Figueroa M. (Eds.) *Planctología mexicana*. Sociedad Mexicana de Planctología, A. C. México. 300 p.
- FIGUEROA, M., SANTOS, D. & VELASCO, A. 2008. *Ficoflora de Xochimilco, Parte 1: Diatomeas y clorofitas*. Serie Académicos CBS, Universidad Autónoma Metropolitana. México. 122 p.
- Figueroa, M., Arana, F., Almanza, S., Ramos, M. & Ferrara, M. 2015. Microalgas del Área Natural Protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. *CienciaUAT*. 9(2): 15-29. <https://www.scielo.org.mx/pdf/cuat/v9n2/2007-7858-cuat-9-02-00015.pdf>
- FLORES, C. 1980. Variaciones estacionales en la composición florística del fitoplancton de dos canales de Xochimilco D.F. México. Tesis profesional de licenciatura, Instituto Politécnico Nacional. 139 p.
- GARDUÑO, G., OLIVA, M., LUGO, A., MENDOZA, M., QUINTANAR, R. & CONFORTI, V. 2011. Trachelomonas (Euglenophyta) from an eutrophic reservoir in Central Mexico. *Journal of Environmental Biology* 32: 463-471. [https://www.researchgate.net/publication/221815941\\_Trachelomonas\\_Euglenophyta\\_from\\_a\\_eutrophic\\_reservoir\\_in\\_Central\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/221815941_Trachelomonas_Euglenophyta_from_a_eutrophic_reservoir_in_Central_Mexico)

- GDF (GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL). 2006. Gaceta Oficial del Distrito Federal (No. 5). México. 164 p. <https://paot.org.mx/centro/gaceta/2006/enero06/11enero06.pdf>
- GDF (GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL). 2013. Gaceta Oficial del Distrito Federal (No. 1723 Tomo IV). México. 148 p. [https://paot.org.mx/centro/reglamentos/df/pdf/2013/GODF\\_30\\_10\\_2013.pdf](https://paot.org.mx/centro/reglamentos/df/pdf/2013/GODF_30_10_2013.pdf)
- GÓMEZ, L. 2007. Microalgas: aspectos ecológicos y biotecnológicos. Laboratorio de Ecotoxicología Marina, Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente. *Revista cubana de Química*. 19(2): 3-20. <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543707001.pdf>
- GONZÁLEZ, A. 1991. Contribución al estudio ficológico estacional de la Laguna de Tilla y canales adyacentes, Xochimilco, México, D. F. Tesis de Licenciatura, Biología, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 80 p.
- GONZÁLEZ, E., AGUADO, J. & MAS, B. 1992. Las microalgas: ¿una potencial alternativa de producción? (I). Departamento de Producción Animal. Facultad de Veterinaria. UCM. *Mundo Ganadero*. 6: 42-45. [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf\\_MG/MG\\_1992\\_5\\_92\\_42\\_45.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_MG/MG_1992_5_92_42_45.pdf)
- GROBBELAAR, J. 2004. Algal Nutrition, Mineral Nutrition. En Richmond, A. (Ed). *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9780470995280.ch6>
- GUIRY, M. & GUIRY, G. 2022. World- Wide Electronic Publication, National University of Ireland, Galway, en AlgaeBase. [En línea]. <http://www.algaebase.org>.
- HERNÁNDEZ, A. & LABBÉ, J. 2014. Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 49 (2): 157-173. <https://www.scielo.cl/pdf/revbiolmar/v49n2/art01.pdf>
- HERNÁNDEZ, P. 2007. Dinoflagelados de Xochimilco. Tesis de Licenciatura, Biología. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 29 p.
- JBARI, N. 2012. Utilización secuencial de microalgas en depuración y adsorción de Cr (VI). Universidad de Granada, Facultad de Ciencias, Departamento de Ingeniería Química. España. 413 p. <https://digi- bug.ugr.es/handle/10481/23879>
- López, G. 1972. Algunos aspectos biológicos de doce especies de protozoarios fitoflagelados del lago de Xochimilco, D. F. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 36 p.
- LÓPEZ, Z., TAVERA R. & NOVELO, E. 2015. El fitoplancton de un canal de Xochimilco y la importancia de estudiar ecosistemas acuáticos urbanos. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 18(1): 13-28. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tip/v18n1/v18n1a2.pdf>
- MARTÍNEZ, O. 2015. Crecimiento heterotrófico de microalgas: aspectos metabólicos. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. México. 58 p. <http://132.248.9.195/ptd2015/marzo/0727517/0727517.pdf>
- MÉNDEZ, L., ALBARRACÍN, I., CRAVERO, M. & SALOMÓN, C. 2010. Crecimiento de *Scenedesmus quadricauda* en efluentes cloacales de la ciudad de Trelew, Chubut, Argentina. *Limnetica*. 19(1-2): 143-159. [https://www.researchgate.net/publication/277105363\\_Crecimiento\\_de\\_scenedesmus\\_quadricauda\\_en\\_efluentes\\_cloacales\\_de\\_la\\_ciudad\\_de\\_Trelew\\_Chubut\\_Argentina](https://www.researchgate.net/publication/277105363_Crecimiento_de_scenedesmus_quadricauda_en_efluentes_cloacales_de_la_ciudad_de_Trelew_Chubut_Argentina)
- MOLINA, D. 2009. Estudio Regional Forestal. Unidad de Manejo Forestal 0904 (Xochimilco, D. F.). Servicios Técnicos, Forestales y Ambientales. 247 p. [http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/9/1199ERF\\_UMAFOR0904.pdf](http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/9/1199ERF_UMAFOR0904.pdf)
- MORENO, J. 2009. Composición, abundancia y distribución del fitoplancton del río Tehuantepec, el estero La ventosa y arroyo el Zanjón, Oaxaca. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 151 p. <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/bitstream/123456789/1911/1/109773.pdf>
- MURGUÍA, E. 1965. Introducción a un estudio limnológico en el lago Xochimilco y en la presa de Guadalupe. Tesis de maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 51 p. <http://132.248.9.195/pmig2018/0294515/0294515.pdf>
- OROZCO, C. 2011. Abundancia, diversidad y taxonomía de la clase Bacillariophyceae en el Parque Ecológico de Xochimilco, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- ORTEGA, M. 1972. Bibliografía algológica de México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Botánica*. 43(1): 63-76.
- ORTEGA, M. 1984. *Catálogo de algas continentales recientes de México*. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 567 pp.
- PEDROZO, A. & RAMÍREZ, N. 2020. La eutrofización de agua: un síntoma antropogénico que requiere atención. *Perspectivas IMTA*. 8: 1-3. <https://www.imta.gob.mx/gobmx/DOI/perspectivas/2020/b-imta-perspectivas-2020-08.pdf>
- PÉREZ, R. & SALAS, E. 1961. Euglenae del Valle de México IV. Descripción de algunos endoparásitos. *Revista Latinoamericana de Microbiología* 4 (2): 53-73
- REYNOSO, A. 1986. Estudio del fitoplancton del lago de Xochimilco. Tesis profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 58 p.
- RUIZ, A. 2011. Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente. Máster Universitario en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica del Valencia. España. 102 p.
- SALAS, E. 1963. Contribución al estudio de las Euglenas del Valle de México. Tesis de Licenciatura, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. México. 60 p.
- SÁMANO-BISHOP, A. 1933. Algunas cianofíceas del lago de Xochimilco. *Anales del Instituto de Biología*. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 4: 29-31.
- SANTOS, D. 2004. Diatomeas planctónicas de la zona lacustre de Xochimilco y su relación con algunos factores ambientales. Informe de Servicio Social, Licenciatura en Biología. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 39 p.
- SCHWÖERBEL, J. 1975. *Métodos de Hidrobiología*. Madrid, España: H. Blume. 262 p.

- TAM, N. & WONG, Y. 1996. Effect of ammonia concentrations on growth of *Chlorella vulgaris* and nitrogen removal from media. *Bioresource Technology*. 57: 45-50. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852496000454?via%3Dihub>
- TAVERA, R., E. NOVELO & OROZCO, C. 2018. Las diatomeas del Parque Ecológico de Xochimilco, México ¿Qué tan importante es la flora de un grupo de un pequeño lugar? *Cymbella, Revista de investigación y difusión de sobre algas*, 4(1): 3-46. [https://www.cymbella.mx/img/numeros/V4/01/Las\\_diatomeas\\_del\\_Parque\\_Ecologico\\_de\\_Xochimilco\\_Mexico.pdf](https://www.cymbella.mx/img/numeros/V4/01/Las_diatomeas_del_Parque_Ecologico_de_Xochimilco_Mexico.pdf)
- VALADEZ, F., G. ROSILES & CARMONA, J. 2010. Euglenophytes from Lake Chignahuapan, Mexico. *Cryptogamie, Algologie*, 31(3) 305-319. [https://www.researchgate.net/publication/248703310\\_Euglenophytes\\_from\\_Lake\\_Chignahuapan\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/248703310_Euglenophytes_from_Lake_Chignahuapan_Mexico)
- VÁZQUEZ, L. & RÍOS, R. 2004. Estudio sobre las concentraciones de nitrógeno y fósforo en los embalses de Puerto Rico. Universidad de Puerto Rico. 34 p.
- VELASCO, A. 2004. Clorofitas fitoplanctónicas de la región lacustre de Xochimilco y su relación con algunos factores ambientales. Informe final de servicio Social, Licenciatura en Biología. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 121 p.
- WHITFORD, L. & SCHUMANCHER, G. 1969. *A manual of the fresh-water algae in North Carolina*. The North Carolina Agricultural Experiment Station. Estados Unidos. 313 p.