

Variación espacio-temporal del fitoplancton del lago de Chapala, México, durante 2012

Spatio-temporal variation of phytoplankton in Lake Chapala, Mexico, during 2012

Recepción del artículo: 25/10/2023 • Aceptación para publicación: 22/11/2023 • Publicación: 05/01/2024

<https://doi.org/10.32870/e-cucba.vi21.324>

Martha Alicia Lara González
Elva Guadalupe Robles Jarero
Martín Pérez Peña
Eduardo Juárez Carrillo
Ildelfonso Enciso Padilla
Ernesto López Uriarte*

Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Departamento de Ecología Aplicada. Laboratorio de Ecosistemas Marinos y Acuicultura. Zapopan, Jalisco, México.

*Autor para correspondencia: ernesto.luriarte@academicos.udg.mx

Resumen

Con la finalidad de evaluar la composición y variación espacio-temporal del fitoplancton del lago de Chapala se realizó un estudio en diez estaciones de muestreo en enero, mayo y septiembre durante 2012. Se determinó un total de 60 especies/morfoespecies de fitoplancton de red en superficie y a dos metros de profundidad. La División Chlorophyta registró la mayor riqueza de acuerdo al número de especies (22), seguida de Cyanophyta (20), Heterokontophyta (13), Euglenophyta (cuatro) y Dinophyta (una). Sin embargo, las especies de Cyanophyta representaron entre el 84 y 90% de la abundancia relativa de las cinco divisiones en los meses de muestreo, con ligeros recambios de especies a nivel de orden en esta clase. El análisis de escalamiento multidimensional (NMDS) mostró una evidente separación de la comunidad de fitoplancton entre meses de muestreo formando tres grupos temporales, consistente con el análisis exploratorio de similitud (SIMPER), que también evidenció tres asociaciones temporales. Mientras que el análisis de ordenación de Bray Curtis reveló una correlación significativa entre las especies de fitoplancton y variables ambientales, como el oxígeno disuelto, transparencia, irradianza, temperatura, pH, oxígeno disuelto y velocidad de viento ($p < 0.05$). En conclusión, se observó un claro dominio de las especies de la División Cyanophyta en el lago durante el presente estudio, identificando el proceso de sucesión tradicional en los ensamblajes de la comunidad fitoplanctónica, característico en cuerpos de agua con distintos niveles de eutrofización.

Palabras clave: Composición, Cyanophyta, lago, sucesión temporal, comunidad.

Abstract

In order to assess the composition and spatio-temporal variation of phytoplankton in Lake Chapala, a study was carried out at ten sampling stations in January, May and September during 2012. A total of 60 species/morphospecies of net phytoplankton were recorded at the surface and at two metres depth. The Division Chlorophyta recorded the highest number of species (22), followed by Cyanophyta (20), Heterokontophyta (13), Euglenophyta (four) and Dinophyta (one). Cyanophyta species accounted for 84-90% of the abundance of the five divisions in the sampling months, with slight species turnover at the order level in this class. Multidimensional scaling analysis (NMDS) showed an evident separation of the phytoplankton community between sampling months forming three temporal clusters, consistent with the exploratory similarity analysis (SIMPER), which also showed three temporal associations. While Bray Curtis ordination analysis revealed a significant correlation between phytoplankton species and environmental variables, such as dissolved oxygen, transparency, irradiance, temperature, pH, dissolved oxygen and wind speed ($p < 0.05$). In conclusion, a clear dominance in presence and abundance of species of the Cyanophyta Division was observed in the lake during the present study; identifying the traditional succession process in the phytoplankton community assemblages, characteristic in water bodies with different levels of eutrophication.

Keywords: Composition, Cyanophytes, lake, temporal succession, community

Introducción

El fitoplancton es la unidad básica de producción de materia orgánica en los ambientes acuáticos y el inicio al flujo de energía. Al igual que la mayoría de las plantas, fijan carbono por medio del proceso de fotosíntesis, a partir del agua, gas carbónico y energía luminosa (González-González, 1992). El fitoplancton, por lo tanto, desempeña un papel muy importante como principal productor primario de los sistemas acuáticos lacustres y marinos, significando la base de la cadena alimenticia y actualmente el sumidero de bióxido de carbono en estos ecosistemas. A pesar de su importancia, son escasos los estudios relacionados con la comunidad fitoplanctónica en los lagos de nuestro país (González-González, 1992), y varios de ellos se han enfocado principalmente a aspectos taxonómicos (Mora-Navarro *et al.*, 2006; Esqueda-Lara *et al.*, 2016; Godínez-Ortega *et al.*, 2017)

Los sistemas acuáticos continentales significan la base para la vida de un gran número de organismos, por lo cual, siempre han estado asociados al asentamiento y desarrollo de pueblos y ciudades (Avilés *et al.*, 2007). Diversos estudios sobre la composición de microalgas para el lago de Chapala han reportado más de 100 especies (Oliva-Martínez *et al.*, 2014), incluidas en tres clases taxonómicas: Bacilliarophyceae, Chlorophyceae y Dinophyceae (Mora-Navarro *et al.*, 2004). Su distribución y abundancia en espacio y tiempo es asociada a la dinámica ambiental en la interacción atmósfera-lago, a las variaciones en el contenido de nutrientes, así como a la presencia y variación de sedimentos finos como arcillas en la columna de agua (Lind y Dávalos-Lind, 1991; Lind *et al.*, 1992; De Anda y Shear, 2001).

Las diversas industrias instaladas a lo largo de su cuenca hidrológica (Lerma-Chapala-Santiago, RH-XII: 129,263 km²) (Guzmán, 2003), han causado un impacto directo en la calidad del agua, estructura y funcionamiento del ecosistema lacustre, originando un cuerpo de agua eutrofizado. La magnitud de estos impactos varían interanualmente, según la cantidad aportada de materia orgánica, grasas, detergentes,

pesticidas, aceites, bacterias patógenas, y metales pesados, por descarga fluvial y pluvial (De Anda y Shaer, 2001; De Anda y Maniak, 2007; De la Lanza Espino, 2007), provocando intensos florecimientos algales, que, en conjunto a la alta suspensión de sólidos disueltos en la columna de agua, causan alta turbidez, hipoxia y anoxia, derivando en procesos nocivos a la flora y fauna (Dávalos-Lind y Lind, 1989; Lind *et al.*, 1992).

El presente trabajo tuvo como propósito determinar la composición taxonómica del fitoplancton y su variación espacio-temporal en enero (E), mayo (M) y septiembre (S) a dos niveles de profundidad, superficie y dos metros, durante 2012 en el Lago de Chapala.

Materiales y métodos

Área de estudio

El lago de Chapala se ubica entre los 20° 07' 00"-20° 21' 00" de LN y los 102° 40' 45"-103° 25' 30" de LW a una altitud de 1,450 msnm y comprende una superficie aproximada de 5,128 km² (Figura 1) (Estrada-Faudon *et al.*, 1983). El clima de la región es del subgrupo semicálido subhúmedo, con lluvias en verano y un menor porcentaje de lluvia invernal. La precipitación total anual es de 875.2 mm, el mes más lluvioso es julio (150-200 mm) y el más seco es enero. La temperatura atmosférica promedio anual es de 19.9 °C, la máxima oscila entre los 27 °C y 30 °C de mayo a junio y la mínima de diciembre a febrero entre los 9 °C a 12 °C (García, 1989; CNA, 2023). La profundidad máxima del lago varía dependiendo del ciclo interanual de lluvias y del volumen almacenado, en los últimos años, es entre 8 y 9 m (CEA-Jalisco, 2014; observación personal en 2012). De acuerdo a la continua mezcla por viento, el lago de Chapala se considera de tipo polimíctico tropical, lo cual sugiere homogeneidad en la columna de agua (Wetzel, 1983).

Trabajo de campo

Durante enero, mayo y septiembre de 2012, se realizó la colecta de fitoplancton y registro de variables ambientales en columna de agua a dos niveles de profundidad en diez sitios del lago de Chapala. A nivel superficial y a dos metros de pro-

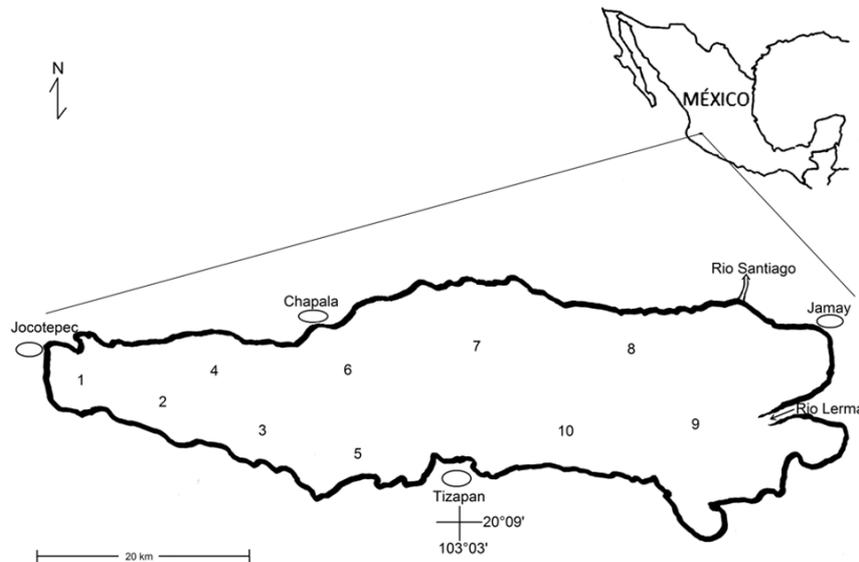


Figura 1. Mapa del lago de Chapala, ubicando los sitios de muestreo.

fundidad de cada sitio se registró la temperatura y el oxígeno disuelto con un oxímetro marca YSI 550, el pH se registró con un potenciómetro marca HANNA HI9812, la cantidad de luz con un irradiómetro espectral marca LI-COR modelo LI 250; en cada sitio se registró la profundidad con una sondaleza y la transparencia del agua mediante un disco de Secchi. La velocidad de viento con un anemómetro digital marca Control Company, y la dirección con una veleta. Las muestras de fitoplancton se obtuvieron mediante un arrastre circular de una red cónica de 0.30 m de diámetro de boca y 30 μ m de luz de malla, utilizando una embarcación con motor fuera de borda a una velocidad de un nudo durante un minuto, tanto en superficie y a dos metros de profundidad. Las muestras se depositaron en frascos de 250 ml y fueron fijadas con formaldehído al 4%, se mantuvieron en una hielera hasta su traslado al laboratorio, para su posterior análisis.

Trabajo de laboratorio

Para el conteo celular y de colonias, se hizo un análisis de alícuotas por quintuplicado, en un hematocítmetro de 0.2 mm de profundidad (marca Fuchs-Rosenthal), expresado como el número de células por unidad de volumen en ml, según el método de Drop (APHA-AWWA-WPCF 1998). Se utilizó un microscopio compuesto marca Carl Zeiss con objetivos de 40X.

Para la determinación de especies de fitoplancton se utilizaron diversas claves taxonómicas según el taxa. Se consultaron Komárek y Anagnostidis (2005) y Komárek y Komarkova-Legnerova (2007) para Cyanophyceae, Komárek, Fott y Huber-Pestalozzi (1983) en Chlorophyceae y para Bacillariophyceae se consultó Krammer y Lange-Bertalot (1988).

Análisis de datos

Para explorar las relaciones de similitud de especies entre niveles, sitios y mes se realizó un análisis de escalonamiento multimodal no métrico (NMDS), con base en una matriz de similitud de Bray-Curtis de datos transformados con una raíz cuarta previamente. La contribución de las especies a la disimilitud entre nivel, sitio y mes, se determinó con un análisis de similitud en porcentaje (SIMPER) de una vía (Clarke y Warwick, 1994); en éste, se tomó como criterio hacer un corte al 30 %, debido a la mayor contribución de las especies. Se utilizó el programa PRIMER V6.1. (Clarke y Gorley, 2006).

Se realizó un análisis de ordenación de Bray Curtis para evaluar la relación lineal entre la composición de especies del fitoplancton y las variables ambientales representativas que estructuran el hábitat. Esta ordenación se realizó con las especies que presentaron mayor contribución en el análisis de similitud SIMPER.

Consistió de una matriz principal conformada por 60 especies y 60 sitios (nivel, sitio y mes) y una matriz secundaria conformada por 60 sitios y siete variables ambientales (velocidad de viento, profundidad, pH, oxígeno disuelto, transparencia, temperatura e irradianza) usando el programa PC-ORD 5.31. Para evaluar diferencias entre nivel, sitio y mes de muestreo se utilizó un análisis de varianza basado en permutaciones (PERMANOVA) de 3 vías, de factores cruzados con efectos mixtos; modelo: $\mu+Ti+Sj+Pk+TixSj+TxPk+Sj+Pk$.

Resultados

Condiciones ambientales

Las condiciones ambientales en columna de agua entre niveles, sitios y meses presentaron variaciones durante el periodo de estudio. La temperatura osciló de 25.8 °C a 17.3 °C, siendo enero el mes más frío, con estratificación de su columna de agua, mayo y septiembre fueron mayormente cálidos, con promedios de 23.6 °C y 24.3 °C respectivamente, sin registrar estratificación en columna de agua. La concentración de oxígeno disuelto tuvo un promedio de 6.87 mg/L (9.3 mg/L a 4.9 mg/L), con mayor concentración en mayo y menor en septiembre. El potencial de hidrógeno tuvo una tendencia a la alcalinidad, con valores de 8.9 a 8.1 durante el estudio, siendo septiembre ligeramente mayor, con un promedio de 8.78, mientras que entre niveles y sitios se mantuvo homogéneo. La irradianza fue similar entre sitios y meses de muestreo, variando entre 580 y 230 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en superficie y los 220 a 52 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a dos metros de profundidad. Los valores promedio de transparencia en columna de agua fluctuaron de 0.65 a 0.48 m, registrando enero la mayor transparencia (0.65 m), seguida de mayo (0.55 m) y septiembre (0.48 m). La profundidad promedió fue 4.11 m (± 0.9 m) durante los meses de muestreo, con máxima de 5.5 m y 2.7 m como mínima.

La temperatura atmosférica y la velocidad del viento se incrementaron de enero a septiembre. En enero la temperatura registró en promedio 19.04 °C, durante mayo y septiembre osciló los 24 °C. El viento tuvo una dirección de este a oeste,

con velocidad promedio de 6.98 km/h en enero, incrementando gradualmente hasta septiembre con 9.79 km/h, alcanzando una máxima de 20.8 km/h en este último mes. La cantidad de luz atmosférica (irradianza en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a nivel de la superficie varió entre 1322 y 512 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante el estudio, registrando la menor turbidez en enero, y en septiembre registró menor irradianza con un promedio de 921.32 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (± 186.5) y una máxima 1150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. En el anexo 1 se muestran los valores de los parámetros físico-químicos de la columna de agua, temperatura atmosférica, irradianza y velocidad y dirección de viento en los sitios y meses de muestreo.

Composición de fitoplancton

Se determinó un total de 60 especies/morfoespecies de fitoplancton a dos niveles de profundidad en columna de agua, superficial y dos metros de profundidad (Anexo 2). La División Chlorophyta registró el mayor número de especies (22), seguida de Cyanophyta (20), Heterokontophyta (13), Euglenophyta (cuatro) y Dinophyta (una) (Figura 2). La frecuencia de aparición por División muestra variaciones por nivel de profundidad (superficial y dos metros), sitio y mes de colecta. El mayor número de especies se registró en el nivel de dos metros y osciló entre 40 y 30 especies, mientras que el nivel superficial presentó entre 36 y 24 especies; en la estación uno, nueve y diez se muestra una diferencia de especies entre niveles hasta de 12, que aparecieron solo en el nivel de dos metros (estación uno durante enero) (Anexo 2). El análisis de varianza de una vía demostró que existe diferencias significativas en la abundancia (número de células / ml) del fitoplancton entre meses de muestreo ($F = 3.41$ $p < 0.05$). Enero tuvo mayor densidad relativa (número de células por mL) que mayo y septiembre (prueba a posteriori de Tukey $p = 0.03$ y 0.02 respectivamente). Enero registró una densidad relativa promedio de 1303×10^6 cel/mL (± 683 e.s.), seguido de mayo 618×10^6 cel/mL (± 486 e.s.) y septiembre 382×10^6 cel/mL (± 254 e.s.). Sin embargo, la densidad relativa fue similar entre niveles de profundidad (superficial y dos metros) y entre sitios de muestreo ($p > 0.05$).

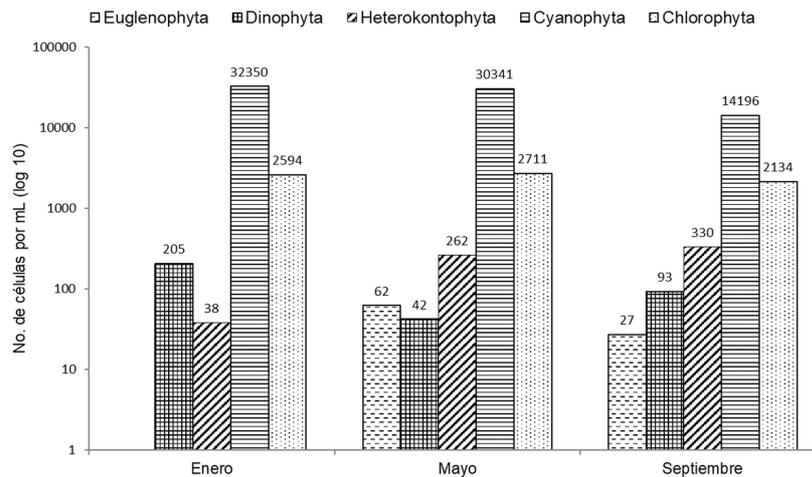


Figura 2. Abundancia de las cinco divisiones de fitoplancton registrado en los sitios de muestreo del lago de Chapala durante 2012.

Las Cyanophyta dominaron la abundancia del fitoplancton durante todo el estudio con densidades relativas (número de células por mL), por arriba del 90%. Las Chlorophyta representaron alrededor del 8.72%, mientras Heterokontophyta, Dinophyta y Euglenophyta en su conjunto alcanzaron alrededor del 1.28% de la abundancia total. En las Cyanophyta fue evidente la dominancia de algunas especies de los Órdenes Synechococcales y Nostocales durante enero y mayo, mientras que las Oscillatoriales y Chroococcales contribuyeron sustancialmente durante mayo y septiembre (Figura 3). Solo en este taxa se puede observar claramente la variación de la comunidad entre niveles (superficial y dos metros) de columna de agua, ya que en enero las Synechococcales (*Synechocystis aquatilis* Sauvageau y *Synechococcus* sp.2) dominaron el nivel superficial y las Nostocales (*Anabaena* sp. y *Aphanizomenon flosaquae*) registran mayor densidad relativa a dos metros de profundidad. Las Cyanophyta *Lyngbya* sp.1 (mayo-septiembre), *Synechocystis aquatilis* Sauvageau (enero), *Synechococcus* sp.2 (enero) y *Aphanizomenon flosaquae* Ralfs ex Bornet & Flahault (enero), representaron arriba del 66% de la abundancia del fitoplancton; y junto con *Dolichospermum flosaquae* (Brébisson ex Bornet & Flahault) P. Wacklin, L. Hoffmann & J. Komárek (enero-mayo), *Synechococcus* sp.1 (enero-mayo-septiembre), *Gloeocapsa aeruginosa* Kützing (mayo-septiembre), *Anabaena* sp. (enero-mayo) y *Microcystis flosaquae* (Wittrock) Kirchner (enero-mayo) incrementaron esta abun-

dancia hasta el 76%. Las Chlorophyta *Closterium aciculare* T. West y *Staurastrum longiradiatum* West & G. S. West, *Chlorella vulgaris* Beyerinck [Beijerinck], *Pediastrum duplex* Meyen y *Monoraphidium* sp., sobresalieron más por su frecuencia en todo el lago y meses de muestreo; mientras que *Ulothrix* sp. contribuyó sólo en septiembre. De las Heterokontophyta, *Navicula* sp., *Botrydiopsis* sp. y *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, fueron ligeramente abundantes en mayo y/o septiembre. Las Euglenales (Euglenophyta), *Phacus* sp. y *Euglenas* sp. contribuyeron consistentemente en mayo y septiembre, mientras que los dinoflagelados (Dinophyta), *Ceratium* sp., fue la única especie que contribuyó en enero y mayo. El análisis de escalamiento multidimensional (NMDS) muestra una separación clara entre meses de muestreo formando tres grupos por fecha de muestreo: enero, mayo y septiembre (Figura 4). La elipse de la derecha del gráfico, se agrupan los sitios y niveles (superficie y dos metros) correspondiente al ensamblaje de fitoplancton del mes de enero; indicando un agrupamiento más entre el fitoplancton del nivel de superficie y de dos metros. En el cuadro del gráfico, se muestra un grupo más homogéneo, correspondiente al ensamblaje del fitoplancton de mayo, sin evidenciar agrupación del fitoplancton de sitios por el nivel de profundidad. El grupo correspondiente al ensamblaje de septiembre se muestra en el círculo de la parte derecha del gráfico, que es aún más homogéneo, sin poder de-

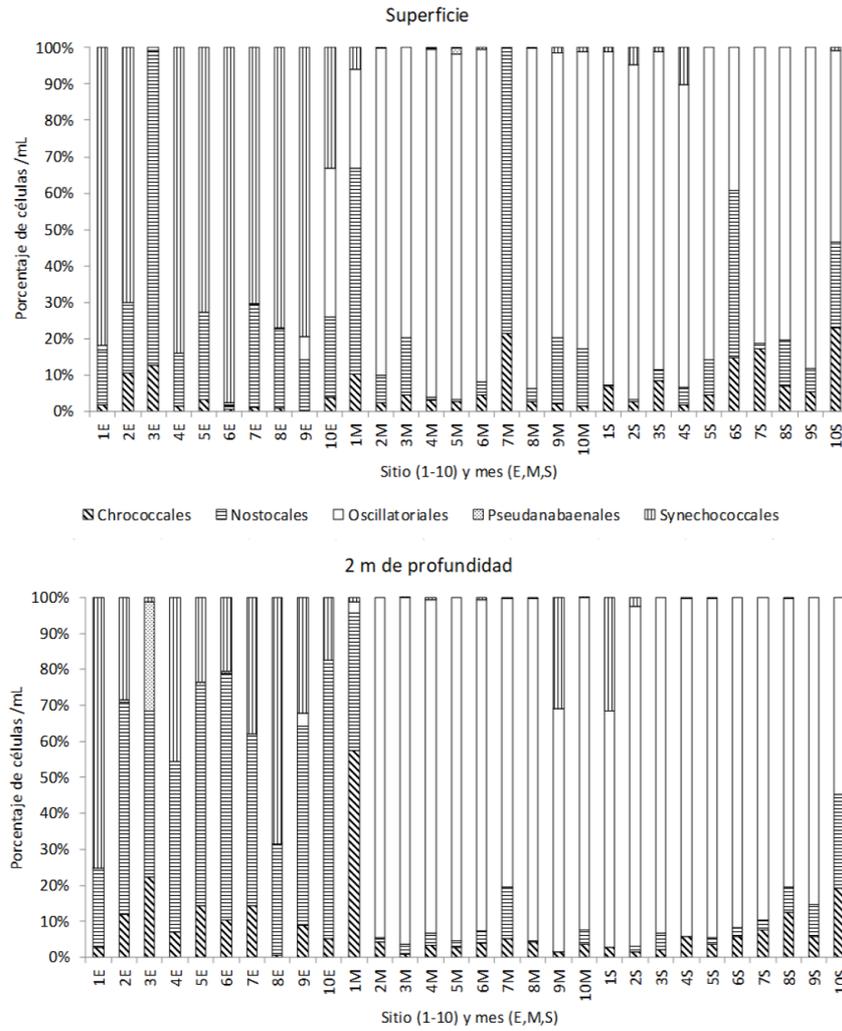


Figura 3. Proporción de los cinco órdenes de la clase Cianofita en los diez sitios durante enero (E), mayo (M) y septiembre (S) de 2012 a nivel superficie y dos metros de profundidad en el lago de Chapala.

finir agrupación de sitios por nivel de profundidad. Lo anterior, es consistente con el análisis exploratorio de similitud (SIMPER), se observa tres asociaciones temporales a un corte del 40 % (Figura 5). El ensamblaje de enero se separa a primer nivel, seguidos de los ensamblajes de mayo y septiembre. A segundo nivel de separación el grupo 1 correspondiente a enero, se presenta la agrupación de los sitios por nivel de profundidad, un subgrupo superficial representado por especies del Orden de Synechococcales (*Synechocystis aquilitis* y *Synechococcus* sp.2), y el nivel de dos metros esta representado por las especies de los Orden Nostocales (*Aphanizomenon flosaquae* y *Anabaena* sp.). Las especies que indican la disimilitud entre enero y mayo, así como enero y septiembre son: *Synechocystis aquilitis*, *Lyngbya*

sp.1, *Aphanizomenon flosaquae* y *Anabaena* sp., con una contribución acumulada alrededor del 30%. Solo *S. aquilitis* marca la diferencia entre enero y mayo y enero de septiembre por arriba del 10% de contribución. La composición y contribución cambia en el contraste de mayo contra septiembre, cuando aparecen *Chlorella vulgaris* y *Ulothrix* sp., ambas de la División Chlorophyta, contribuyeron con una disimilitud cercana al 10%, mientras que las Cyanophyta *Lyngbya* sp.1 y 2 (5.81%), *Aphanizomenon* sp.2 (5.29 %) y *Aphanizomenon* sp.1 (3.68 %) siguieron participando con una disimilitud cercana al 20% de contribución.

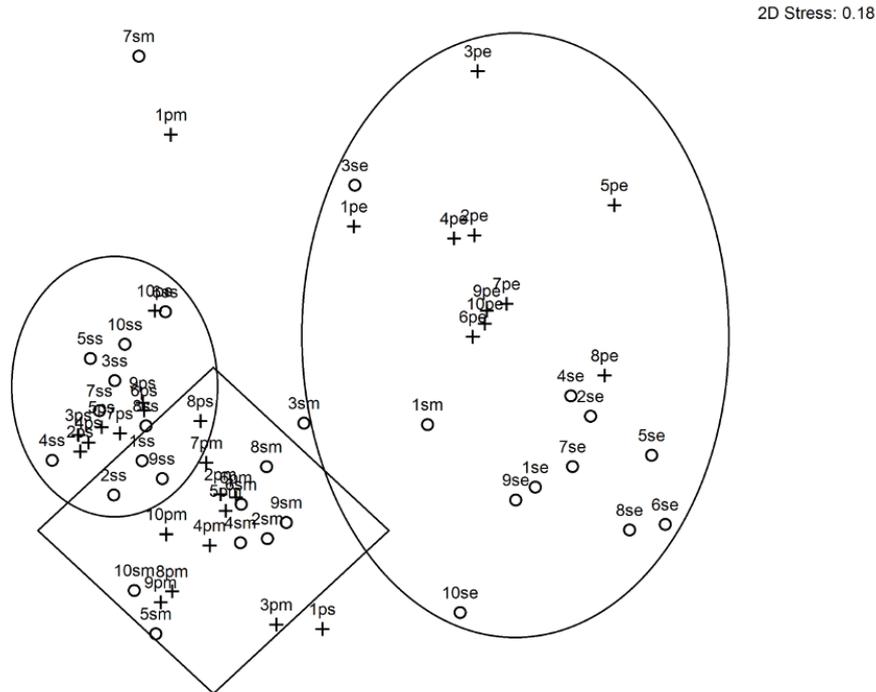


Figura 4. Análisis de escalamiento multidimensional NMS del fitoplancton por nivel de profundidad (s= superficie; p= dos m de profundidad), sitio y mes de colecta en el lago de Chapala, México. El círculo vacío (o) corresponde al fitoplancton colectado en superficie, el símbolo en cruz al colectado a dos metros de profundidad y la segunda letra corresponde al mes de muestreo (e= enero, m= mayo, s= septiembre). La elipse derecha incluye al fitoplancton representativo del mes de enero, dentro del cuadrado al de mayo y la elipse izquierda al fitoplancton de septiembre.

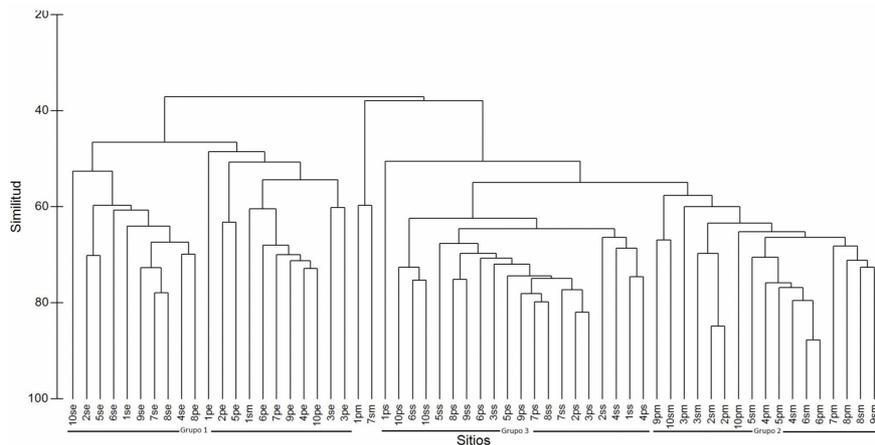


Figura 5. Dendrograma resultante del análisis exploratorio similitud SIMPER, sobre el fitoplancton en el lago de Chapala, México. El eje horizontal muestra el arreglo por sitio de muestreo, nivel de profundidad (s = superficie y p = dos metros) y mes de muestreo (e = enero, m = mayo, s = septiembre). La comunidad fitoplanctónica muestra la formación del grupo 1 para el mes de enero, grupo 2 para mayo y grupo 3 corresponde a septiembre.

Consistente a lo señalado anteriormente y con el apoyo del análisis multivariado PERMANOVA de tres vías de factores cruzados se demuestra que el mes, sitio y nivel de profundidad de muestreo afectaron el ensamblaje de la comunidad de fitoplancton del lago, donde las interacciones mes contra sitio, así como mes contra profundidad también influyeron significativamente en la composición y abundancia de Chapala durante 2012 ($p < 0.05$). Sin embargo, el contraste sitio contra nivel de profundidad no presentó diferencia significativa en la interacción ($p > 0.05$).

Cuadro 1. Resultados del PERMANOVA de 3 vías de factores cruzados.

Factores	g.l.	Sc	Sm	Pseudo-F	P(perm)	P(MC)
Tiempo	2	31651	15825	13.266	0.0001	0.0001
Sitio	9	11780	1308.9	2.101	0.0002	0.0003
Profundidad	1	2727.7	2727.7	4.1465	0.0036	0.0011
Tiempo x Sitio	18	21473	1192.9	1.9148	0.0001	0.0002
Tiempo x Profundidad	2	2847	1423.5	2.2849	0.0078	0.0105
Sitio x Profundidad	9	5920.5	657.83	1.0559	0.3787	0.3936
Residual	18	11214	623			
Total	59	87613				

Fitoplancton en relación a variables ambientales

El análisis de ordenación de Bray Curtis reveló una correlación significativa entre las especies de fitoplancton y variables ambientales ($p < 0.05$), ya que la variación explicada acumulada fue cercana al 97 %. Además, que este análisis es consistente con los resultados del análisis NMDs y SIMPER, donde el diagrama muestra claramente la agrupación temporal del fitoplancton dado por el nivel y sitio, correspondiente a la agrupación de enero, mayo y septiembre (Figura 6). El primer eje explica el 42.46 % de la variación total y muestra relación positiva del fitoplancton con oxígeno disuelto, transparencia e irradianza en mayor medida y negativamente con temperatura, pH y velocidad de viento. El segundo eje explica el 15.071 % de la variación total, con ligera relación del fitoplancton y la condición ambiental. explica el 39.17 de la variación total y el fitoplancton se relaciona positivamente con el pH, temperatura y profundidad.

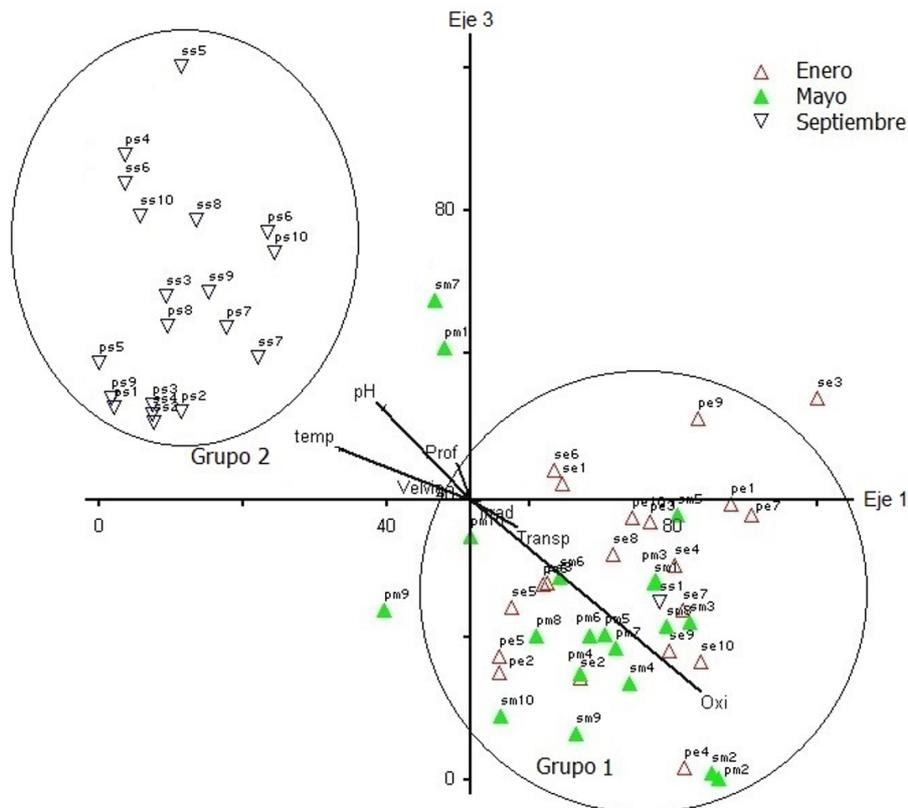


Figura 6. Análisis ordenación de Bray Curtis según la composición de especies por nivel de profundidad, sitio, mes de muestreo y variables ambientales en columna de agua (—) entre los ejes 1 y 2. Los sitios de muestreo se indican en número, el símbolo en triángulo vacío (Δ) corresponde al fitoplancton presente durante enero, el triángulo lleno (\blacktriangle) al mes de mayo y septiembre el triángulo en posición inversa. El orden de las letras corresponde al nivel superficial (s), dos metros de profundidad (p), el mes de colecta enero (e), mayo (m) y septiembre (s).

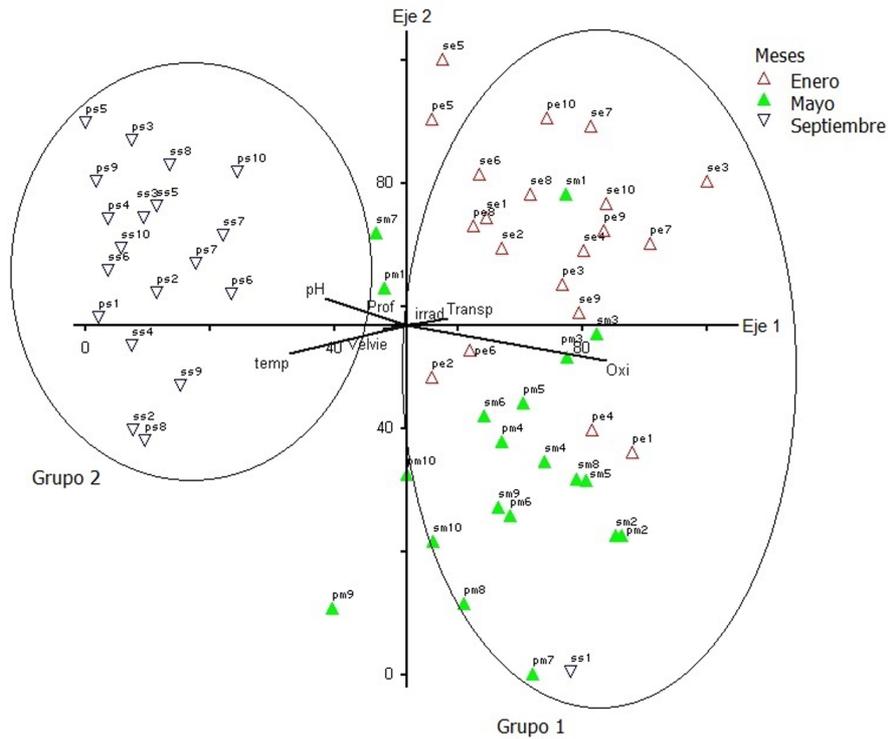


Figura 6. Análisis ordenación de Bray Curtis según la composición de especies por nivel de profundidad, sitio, mes de muestreo y variables ambientales en columna de agua (—) entre los ejes 1 y 2. Los sitios de muestreo se indican en número, el símbolo en triángulo vacío (Δ) corresponde al fitoplancton presente durante enero, el triángulo lleno (\blacktriangle) al mes de mayo y septiembre el triángulo en posición inversa. El orden de las letras corresponde al nivel superficial (s), dos metros de profundidad (p), el mes de colecta enero (e), mayo (m) y septiembre (s).

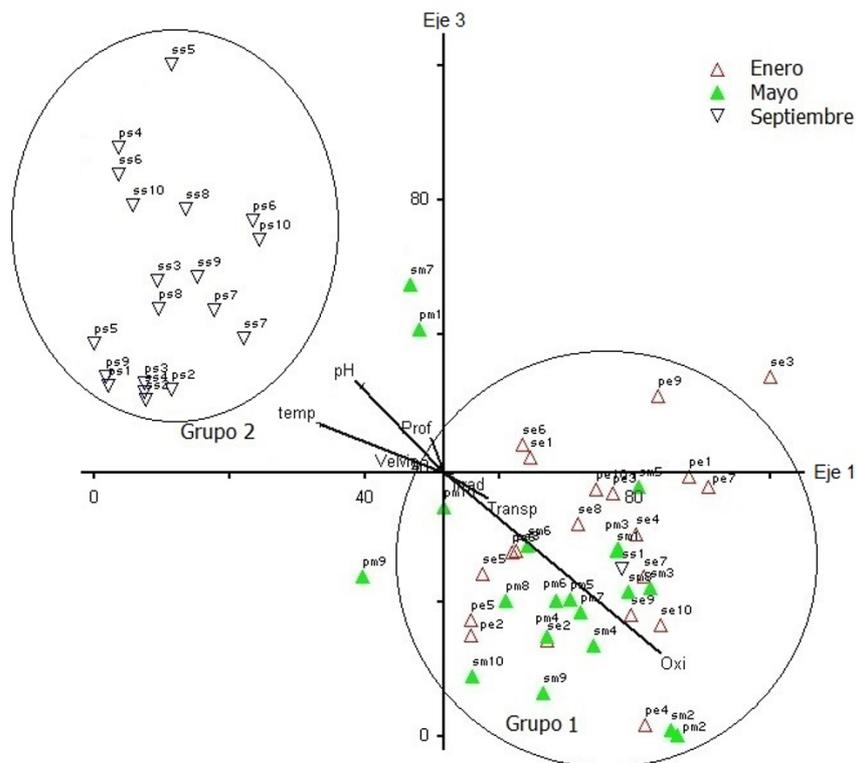


Figura 7. Análisis ordenación de Bray Curtis según la composición de especies por nivel de profundidad, sitio, mes de muestreo y variables ambientales en columna de agua (—) entre los ejes 1 y 3. Los sitios de muestreo se indican en número, el símbolo en triángulo vacío (Δ) corresponde al fitoplancton presente durante enero, el triángulo lleno (\blacktriangle) al mes de mayo y septiembre el triángulo en posición inversa. El orden de las letras corresponde al nivel superficial (s), dos metros de profundidad (p), el mes de colecta enero (e), mayo (m) y septiembre (s).

El grupo uno correspondiente al mes de enero, se encuentra representado por Cyanophyta como *Synechococcus* sp.2, *Leptolyngbya frigida* (F. E. Fritsch) Anagnostidis & Komárek, *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, *Aphanizomenon* sp.3, la Chlorophyta *Kirchneirella obesa* (West) West & G. S. West, la Heterokontophyta *Epithemia* sp. El grupo dos formado por el ensamblaje del fitoplancton de niveles y sitios de septiembre, está representado por una mezcla de Chlorophyta (*Lyngbya* sp.1, y sp.2, *Aphanizomenon* sp.1 y sp.2, *Microcystis flosaquae*) y clorofitas (*Eudorina elegans* Ehrenberg, *Monactinus simplex* (Meyen) Corda, *Ulothrix* sp.1 y *Closterium aciculare*) que se asocia a temperatura cálida en columna de agua y velocidad de viento.

La correlación con los ejes uno y tres se muestra en la figura 7, en la que se observa dos grupos. El grupo 1, se encuentran *Lyngbya* sp.1 y sp.2, *Aphanizomenon* sp.1 y sp.2, y dos especies de Chlorophyta que sobresalen en este grupo que son *Eudorina elegans* y *Closterium aciculare*, asociadas positivamente con irradiancia, transparencia y oxígeno. En el grupo 2 se encuentran varias divisiones representadas, de Cyanophyta *Synechococcus* sp.2, *Leptolyngbya frigida*, y *Aphanizomenon* sp.3, de la División Chlorophyta la especie *Kirchneirella obesa* y de Heterokontophyta una diatomea de la especie *Pinnularia viridis* (Nitzsch) Ehrenberg, correlacionando negativamente con la temperatura, pH, velocidad del viento y profundidad de columna de agua.

Discusión

Las condiciones ambientales en el lago de Chapala durante los meses de estudio siguieron un patrón similar de variación espacial y temporal que otros autores han reportado para el área de estudio (CEA-Jalisco, 2014; Limón, 1985; Quiroz *et al.*, 2004; De la Lanza Espino *et al.*, 2007). Las condiciones cálidas prevalecieron a finales de primavera (junio) y durante el verano (julio-septiembre), mientras que en invierno (enero) se registraron las menores temperaturas en la región y variaciones espaciales apenas perceptibles entre áreas del lago, es decir entre sitios (oeste-centro-

este) (CEA-Jalisco 2014; Filonov y Tereshchenko, 1999; Filonov *et al.*, 2001). Aunque encontramos una ligera estratificación térmica de columna de agua durante enero, que coincide con lo reportado por Filonov y Tereshchenko (1999) y Lind *et al.* (2001), no se detectó esta condición en mayo y septiembre. El oxígeno disuelto y el potencial de hidrógeno, se mantuvieron en un rango óptimo para el funcionamiento de productores primarios como el fitoplancton según varios autores (Limón, 1985; Guzmán y Orbe, 2002; De la Lanza Espino *et al.*, 2007). En cuanto a la transparencia en columna de agua, se reporta en primer lugar, que es limitada sólo a los primeros centímetros de la superficie hacia el fondo, y es mayor hacia los meses cálido húmedo (lluvias), por aportes fluviales y pluviales y la dilución de materiales suspendidos (Lind *et al.*, 1992; Lind y Dávalos-Lind, 2001). En nuestro estudio la transparencia fue ligeramente mayor durante la época templado-seca, enero con 0.8 m, y coincide con la también, ligera estratificación de la columna de agua. La variación lumínica (irradianza) fue observada solo entre nivel superficie y dos metros de profundidad en columna de agua, como es común en cuerpos de agua, donde la luz se extingue exponencialmente con la profundidad, y en lagos como Chapala, ésta no llega al metro de profundidad, aún en condiciones excepcionales de incremento en su volumen y dilución por efecto fluvial y pluvial (Lind *et al.*, 1992; CEA-Jalisco, 2014).

El elenco fitoplanctónico en un lago tropical con signos de eutrofia está conformado principalmente por cianofitas, con algunas formas dominantes como los géneros *Microcystis*, *Aphanizomenon* y *Anabaena*, además de diatomeas como *Asterionella*, *Fragilaria*, *Synedra* y *Stephanodiscus*, acompañadas de algas verdes en los periodos más cálidos, Desmidiaceas y euglenofitas, siempre y cuando haya abundante materia orgánica disuelta (Wetzel, 1981). En cuerpos de agua eutróficos como el de Arancio y Rosamaría en Italia, se ha reportado similar riqueza con 56 y 46 especies, respectivamente (Naselli-Flores y Barone, 2000), mientras que en el Lago Pampulha de Brasil, la composición fitoplanctónica han registrado 46 especies según

Figueredo y Giani (2001). Sin embargo, algunos lagos polimícticos con características similares a las de Chapala, pero con menor dimensión de espejo de agua y profundidad, han presentado mayor riqueza, posiblemente por el diseño y regularidad de muestreo, como la laguna Aeroclub en Argentina subtropical (Zalocar *et al.*, 1998), que registró un total de 137 especies, siendo la mayoría Chlorophyta (47 especies), seguidas de Cyanophyta (21 especies).

En México, la riqueza del fitoplancton en ambientes lénticos como Chapala es similar ya que se reportan entre 30 y 60 especies, por ejemplo, el Lago Catemaco en Veracruz con 47 especies, donde las cianofitas dominaron (Torres-Orozco y Pérez-Rojas, 2002). Oliva *et al.* (2008) determinaron 50 especies entre septiembre 2003 y agosto 2004 en el Lago Tezozomoc, aunque el predominio en abundancia fue presentado por las cianofitas (*Merismopedia punctata* Meyen), las clorofitas registraron mayor riqueza específica. El Lago de Azteca en la sierra Madre Oriental en el estado de Hidalgo se registran 56 especies, con variaciones temporales importantes en la comunidad fitoplanctónica, predominando las clorofitas e incrementando la presencia de cianofitas entre 1984 y 1998 según Díaz Pardo *et al.* (2002). En el Lago de Tacámbaro, Hernández-Morales *et al.* (2009), registra 42 especies entre Clorophytas (52 %), Bacillariophytas (26 %), Crysophytas (2 %), Dinophytas (7 %) y Cyanophytas (12 %).

En los diversos cuerpos de agua cercanos al lago de Chapala, la composición de fitoplancton ha presentado registros de 66 a 125 especies, como es el caso de la laguna de Zapotlán donde se han reportado 97 especies incluidas en 40 géneros y 20 familias, dominado por las cianofitas (Romo-Barajas *et al.*, 2006). En la presa Elías González se reportaron 125 especies y como grupo dominante fueron las clorofitas (Campos-Trujillo y Mora-Navarro, 2006); mientras que, en la presa de La Vega, la riqueza fue similar a Chapala pues se contabilizaron un total de 66 especies, 34 géneros y 19 familias, donde el grupo dominante fue el de las clorofitas (Mercado-García *et al.*, 2006). Finalmente, en un estudio realizado por Mora-Navarro *et al.* (2004) en el lago de Chapala entre 1996 y 1998 se reporta 116 especies de fitoplancton

casi el doble de especies del presente trabajo. Esta diferencia puede estar relacionada al mayor esfuerzo de muestreo en tiempo y espacio, ya que sus colectas abarcaron un número de sitios de muestreo mayor (16), otro sustrato de colecta como la superficie de la roca e incluyeron más meses de muestreo (septiembre, octubre y diciembre de 1996; febrero, junio 1997; marzo 1998).

Las Cianophytas presentan características que les permiten dominar entre las diferentes divisiones del fitoplancton, por su capacidad para explotar intensidades de luz muy bajas o altas desde 10-20 hasta mayores a 200 $\mu\text{mol fotón m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Sommaruga *et al.*, 2009), optimizar la fotosíntesis mediante la flotación en la columna de agua, soportar amplios rangos de temperatura que van desde 0°C pasando por su rango óptimo de 25 a 30°C hasta mayores que ésta, como el caso de las termófilas (Vicent, 2000). Además, se caracterizan por fijar nitrógeno y encontrarse en estratos por arriba de las clorofitas, formando los llamados florecimientos, que generalmente son de este tipo de alga, para disminuir su densidad estas células acumulan vesículas de gas, lo que varía según el tamaño de la célula y el nivel de organización del organismo, esto con el objetivo de mejorar la exposición a la luz y reducir la mortalidad por sedimentación (Visser *et al.*, 2005). Evidenciando procesos de sucesión entre diversas especies de cianofitas y de otros taxa por nivel de la columna de agua, sitio y sobre todo entre épocas del año o meses de muestreo. Esto sucede en lagos y embalses similares, como el Pao-Cachinche en Venezuela, donde el proceso de sucesión sigue la misma pauta de aparición y predominio de diversas cianofitas, seguido del elenco de clorofitas y otros grupos o taxa, debido a las variaciones en la concentración de nutrientes disponibles en el tiempo y espacio (González *et al.*, 2004). En Chapala se ha reportado un patrón similar desde la última parte del siglo XX (1980-2000), alternando su dominio entre cianofitas y clorofitas, así como la presencia en menor grado de otros taxa, en periodos y áreas particulares, como lo reportado por De la Lanza Espino *et al.* (2007) hacia los meses de verano (julio – septiembre) y en la periferia del lago; y Mora-Navarro *et al.* (2004) lo asocian a las descargas del

río Lerma y poblados de la periferia, indicado un continuo proceso de eutrofización por enriquecimiento orgánico y que sigue en incremento (CEA-Jalisco, 2014).

Una característica de los lagos someros como Chapala, es que la columna de agua se mezcla frecuentemente por la acción del viento (Wetzel, 1981; Lind *et al.*, 1992; Reynolds, 1992). También conocidos como lagos polimícticos, alteran su estabilidad e impiden la limitación de nutrientes, lo cual favorece el crecimiento de especies con bajas tasas de sedimentación y altas tasas de crecimiento como son las de dimensiones pequeñas (Scheffer, 1998). Especies de los géneros *Monoraphidium* y *Microcystis*, al igual que el pico-fitoplancton, se consideran indicadores de la presencia de capas de agua mezcladas y poco profundas como también los géneros *Pandorina*, *Eudorina*, *Coelastrum*, *Golenkinia*, *Pediastrum*, *Scenedesmus* y *Cryptomonas* (Reynolds *et al.*, 2002). Con respecto a las especies del fitoplancton que hacen la diferencia entre meses, se encuentra a *Synechocystis aquatilis*, que se asocia con pH altos y bajas concentraciones de nitrógeno y fósforo (Odebrecht *et al.*, 2002), lamentablemente no se tomaron los valores de estos nutrientes y los datos que proporciona la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA: instancia gubernamental en México), no cuenta con los registros para los meses de muestreo del presente estudio.

Conclusión

Podemos considerar el claro dominio de diversas especies de cianofitas en el lago de Chapala durante el presente estudio. Identificando el proceso de sucesión tradicional en los ensamblajes de la comunidad fitoplanctónica en cuerpos de agua con distintos niveles de eutrofización. Lo que sugiere, que además de las variables ambientales consideradas, la presencia de un alto contenido de materia orgánica, específicamente de nutrientes básicos como compuestos de fósforo y nitrógeno, siguen ocasionando la deficiente calidad del agua para este ecosistema léntico. En ese sentido, la riqueza específica y la rareza del fitoplancton determinado en el presente trabajo puede considerarse alta con respecto a otros trabajos

realizados en el lago y lagos similares, a pesar de las condiciones actuales y la calidad del agua del embalse. Como lo sugieren diversos autores, los factores ambientales que dan estructura a los ensamblajes de la comunidad del fitoplancton y que tienden a variarlo, son la temperatura, la turbidez por sedimentos suspendidos en columna de agua, cantidad de luz, los compuestos nitrogenados y sensiblemente el viento.

Se sugiere explorar las variaciones del fitoplancton a mayor grado de sensibilidad, mensual, quincenal o series de tiempo, que permita visualizar cambios estructurales en los ensamblajes puntuales en espacio y tiempo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al equipo de trabajo del Laboratorio de Ecosistemas Marinos y Acuicultura del Departamento de Ecología Aplicada de la Universidad de Guadalajara y en especial a Saúl Camarena, Técnico del Instituto de Limnología de la Universidad de Guadalajara, que siempre tuvo atenciones durante el desarrollo de las actividades de campo. El presente trabajo fue realizado gracias al apoyo institucional de los programas de PROINPEP, PRO-SIN, y PROMEP de la Universidad de Guadalajara.

Literatura citada

- Alcocer, J., Lugo, A., Sánchez, M. R. y Escobar, E. (1998). Isabela Crater-Lake: a Mexican insular saline lake. *Hydrobiologia*, 381, 1-7.
- APHA AWWA, W. P. C. F. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (20 ed). American Public Health Association, American Water Work Association, Water Environment Federation, Washington, DC.
- Avilés, J. S. H., Calderón, J. L. G. y de la Lanza Espino, G. (2007). Propuesta de clasificación limnológica de pequeños cuerpos de agua basada en el clima, en la región tropical: México. *Investigaciones Geográficas*, (64).
- Campos Trujillo, S. y Mora-Navarro, M.R. (2006). Fitoplancton de la presa Elías González Chávez (periodo 1993-1994), Jalisco, México. En: Mora-Navarro, M.R., J.A. Vázquez-García, Y.L. Vargas-Rodríguez y R.M. Hernández-Herrera (Eds.). *Algas del occidente de México: Florística y Ecología*. Serie Fronteras de Biodiversidad 2.
- CEA-Jalisco. “Lago de Chapala”. Recuperado de <http://www.ceajalisco.gob.mx/chapala.html> (consulta realizada el 26 de agosto de 2014).
- Clarke, K y Warwick, R, M. (1994). *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. Natural Environment Research Council, UK
- Clarke, K. R. y Gorley, R. N. (2006). *Primer*. PRIMER-e, Plymouth, (866).
- CNA. (2023). Normales climatológicas, periodo 1981-2010. Estación Mezcala. Estado de Jalisco. Servicio Meteorológico Nacional. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales8110/NORMAL14379.TXT>
- Cortez-Altamirano, R. y Guzmán, A.M. (1988). *Microalgas del Lago de Chapala, Jalisco*. Informe Técnico. Instituto de Limnología. Universidad de Guadalajara.
- Dávalos-Lind, L. y Lind, O. (1989). Evaluation of phytoplankton limiting factor in a large Mexican lake: Turbidity and the spatial and temporal variation in algal assay response. *Lake Reserv. Manage*, 5, 99-104.
- Dávalos-Lind, L., Sada, R., Guerra, A., Velarde, G., Orozco, L.J., Chrzanowski, T y Lind, O.T. (1992). La producción bacteriana y su importancia en la cadena trófica en el lago de Chapala. *Ingeniería Hidráulica en México*, 7 (2/3), 30-36.
- De Anda, J. y Shear, H. (2001). Nutrients and Eutrophication in Lake Chapala. En: Anne M. Hansen y Manfred van Afferden (Eds.). *The Lerma-Chapala Watershed: Evaluation and Management*. Kluwer Academic / Plenum Publishers, London.
- De Anda, J. y Maniak, U. (2007). Modificaciones en el régimen hidrológico y sus efectos en la acumulación de fósforo y fosfatos en el lago de Chapala, México. *Interciencia*, 32 (2), 100-107.
- Díaz Pardo, E., Vázquez, G. y Guerra-Magaña, C. (2002). Lago de Azteca. En: G. de la Lanza y J. L. García-Calderón (Eds.). *Lagos y Presas de México*. AGT. México.
- De la Lanza Espino, G., García Cabrera, J., Corona Mothe, A. y Hernández Pulido, S. (2007). Tendencia de los problemas ambientales y evaluación del lago de Chapala, Jalisco, México. En: de la Lanza Espino, G. (Eds.). *Las Aguas Interiores de México: conceptos y casos*. AGT. México.
- Espinosa-Camarena, P. I. (1982). *Contribución al conocimiento del plancton de Chapala*. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Guadalajara.
- Estrada-Faudon, E., Flores-Tritschler, E. y Michel, J. R. (1983). Lago de Chapala, investigación actualizada. Instituto de Geografía y Estadística-Instituto de Astronomía y Meteorología, Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México. 67 p. Geocentro, Análisis Geoespacial Chapala. http://www.centrogeo.org.mx/internet2/chapala/preocu_amb/cali_agu/cali_agu_pp.ht> (consultado 23 febrero 2013)

- Figueredo, C.C. y Giani, A. (2001). Seasonal variation in the diversity and species richness of phytoplankton in a tropical eutrophic reservoir. *Hydrobiologia*, 45 (1), 165-174.
- Filonov, A.E. y Tereshchenko, I.E. (1999). Thermal lenses and internal solitons in Chapala Lake, Mexico. *Chin. J. Oceanol. Limnol*, 17 (4), 308-314.
- Filonov, A.E., Tereshchenko, I.E. y Monzón, C.O. (2001). Hydrometeorology of Lake Chapala. En: Hansen, A.M. y M. van Afferden (Eds.). *The Lerma-Chapala Watershed. Evaluation and Management*. Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema climático de Köppen*. UNAM, México, D.F.
- González E.J., Ortaz, M., Peñaherrera, C. y Matos, M.L. (2004). Fitoplancton de un embalse hipertrófico (Pao-Cachinche, Venezuela): Abundancia, Biomasa y Producción Primaria. *Interciencia*, 29(10), 548-565.
- González-González, J. 1992. Flora ficológica de México: Concepciones y estrategias para la integración de una flora ficológica nacional. *Revista Ciencias*, (número especial) 6, 13-33.
- Guzmán, M. (2003). *Chapala una crisis programada*. Universidad de Guadalajara. Partido Verde Ecologista. México, D. F.
- Guzmán Arroyo, M. y Orbe Mendoza, A. (2002). Lago de Chapala. En: de la Lanza Espino, G. y García Calderón, J.L. (Eds.). *Lagos y presas de México*. AGT. México.
- Ibarra-Vázquez, C. y Novelo, E. (1997). Diatomeas de Texcala, Puebla. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 61, 49-57.
- INEGI. (1981). Carta estatal de climas. Estado de Jalisco, Méx. Esc, 1(500,000).
- Komárek, J., Fott, B. y Huber-Pestalozzi, G. (1983). *Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie-Teil 7*, 1. Hälfte.
- Komárek, J. y Anagnostidis, K. (2005). Bd. 19/2: Cyanoprokaryota: teil 2: Oscillatoriales. Elsevier, München.
- Komárek, J. y Komárková-Legnerová, J. (2007). Several rare freshwater planktic Cyanobacteria (Cyanoprokaryotes) from reservoirs in South America. *Hoehnea*, 34, 49-58.
- Krammer, K. y Lange-Bertalot, H. (1988). Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd 2/2. Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Gustav Fischer.
- Lind O.T. y Davalos-Lind, L. (1991). Association of turbidity and organic carbon with bacterial abundance and cell size in a large turbid tropical lake. *Limnol. Oceanogr*, 36, 1200-1208.
- Lind, O.T. y Dávalos-Lind, L. (2001). An introduction to the limnology of lake Chapala, Jalisco, Mexico. En: *The Lerma Chapala watershed. Evaluation and Management*. Hensen y van Afflerden (Eds.). Kluwer Academic/Plenum Pub.
- Lind, O.T., Doyle, R., Vodopich, D.S., Trotter, B.T., Glass, J., Dávalos-Lind, L. y Limón, J.G. (1992). Lago de Chapala: factores que controlan la producción de fitoplancton. *Ingeniería Hidráulica en México*, 7(2-3), 17-29.
- Limón, G.M. (1985). Diez años de estudios de calidad de agua en el lago de Chapala. *Teorema. Rev. Col. Ing. Civ.* Estado de Jalisco, 28-40.
- Mercado-García, Y.M., García-Madrid, L.A. y Mora-Navarro, M.R. (2006). Listado del fitoplancton de la presa de la Vega, Jalisco, México. En: Mora-Navarro, M.R., Vázquez-García, J.A., Vargas-Rodríguez, Y.L. y Hernández-Herrera, R.M. (Eds.). *Algas del occidente de México: Florística y Ecología*. Serie Fronteras de Biodiversidad 2. Guadalajara.
- Mora-Navarro M.R., Vázquez-García J.A. y Vargas-Rodríguez Y.L. (2004). Ordenación de comunidades de fitoplancton en el lago de Chapala, Jalisco-Michoacán, México. *Hidrobiológica*, 14 (2), 91-103.
- Naselli F.L. y Barone, R. (2000). Phytoplankton dynamics and structure: a comparative analysis innatural and man-made water bodies of different trophic state. *Hydrobiologia*, 438, 65-74.
- Odebrecht, C., Azevedo, S., García, V., Huszar, V., Magalhaes, V., Menezes, M., Proenzas, L., Rorig, L., Tenenbaum, D., Villac, M. C. y Yunes, J. (2002). Floraciones de Microalgas Nocivas en Brasil. Estado del arte y proyecciones en curso. En: E. Sar, M. Ferrario, & Beatriz, R. (Eds.). *Floraciones algales nocivas en el Cono Sur Americano*. España: Instituto Español de Oceanografía.

- Oliva-Martínez, M. G., Godínez-Ortega, J. L. y Zuñiga-Ramos, C. A. 2014. Biodiversidad del fitoplancton de aguas continentales en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 54-61.
- Oliva M.G., Rodríguez, A., Lugo, A. y Sánchez, M. (2008). Composición y dinámica del fitoplancton en un lago urbano hipertrófico. *Hidrobiológica* 18 (1, Supl. 1), 1-13.
- Ortega, M. M., Godínez, J. L., Garduño, G. y Oliva, M. G. (1995). *Ficología de México. Algas continentales*. AGT Editor. México, XXII.
- Pum, M. y Bretado-Aguirre, J. (1989). Una contribución a la posición del fitoplancton del Lago de Chapala, Jalisco. A contribution to the phytoplankton species composition of lake Chapala, Jalisco. Informe Técnico. Instituto de Limnología. Universidad de Guadalajara.
- Quiroz, H., Mora, L., Molina, I. y García, J (2004). Variación de los Organismos Fitoplanctónicos y la Calidad del Agua en el Lago de Chapala, Jalisco, México. *Acta Universitaria*, 14(1).
- Reynolds, C. S. (1992). Dynamics, selection and composition of phytoplankton in relation to vertical structure in lakes. *Ergeb. Limnol*, 35,13-31.
- Romo-Barajas, M., Velasco-Navarro, M.E., Mora-Navarro, M.R. y Mora-Galindo, J. (2006). Microalgas de la laguna de Zapotlán, Jalisco, México. En: Mora-Navarro, M.R., J.A. Vázquez-García, Vargas-Rodríguez, Y.L. y R.M. Hernández-Herrera (Eds.). *Algas del occidente de México: Florística y Ecología*. Serie Fronteras de Biodiversidad 2. Guadalajara.
- Scheffer, M. (1998). *Ecology of Shallow Lakes*. Chapman & Hall. London.
- Sommaruga, R., Chen, Y. y Liu, Z. (2009). Multiple strategies of bloom-forming *Microcystis* to minimize damage by solar radiation in surface waters. *Microb. Ecol*, 57, 667-674. DOI:10.1007/s00248-008-9425-4
- Vicent, W.F. (2000). Cyanobacterial dominance in the polar regions. En: B. Whitton Y Potts, M. (Eds.). *Cyanobacteria: Their diversity in time and space*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- Visser, P.M., Ibelings, B.W., Mur, L.R. y Walsby, A.E. (2005). The ecophysiology of the harmful cyanobacterium *Microcystis*. En: Huisman, J., Mathijs, H.P.C. y Visser, P.M. (Eds.). *Harmful Cyanobacteria*. Aquatic Ecology Series. Springer. Netherlands.
- Wetzel, R.G. (1981). *Limnología*. Omega. Barcelona.
- Zalocar de Domitrovic Y., V.M. Asselborn y S.L. Casco. (1998). Variaciones espaciales y temporales del fitoplancton en un lago subtropical de Argentina. *Rev. Brasil. Biol*, 58(3), 359-382.

Anexo No. 1

Resumen de parámetros físico-químicos en columna de agua a nivel superficie y dos metros de profundidad y velocidad de viento en el lago de Chapala durante el 2012. Nivel en m, T: temperatura en grados Celsius, OD oxígeno disuelto en ml/l, pH potencial de hidrógeno, I: irradiancia en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, P: profundidad y t: transparencia en m y vv: velocidad viento en k/h.

Sitio	Nivel	Enero							Mayo							Septiembre						
		T°C	OD	pH	I	P	t	vv	T°C	OD	pH	I	P	t	vv	T°C	OD	pH	I	P	t	vv
1	0	18.1	7.6	8.8	431	5.5	0.35	12.5	24.0	8.2	8.2	420	3.3	0.35	2.3	24.4	6.2	8.8	230	5.5	0.40	14.9
	2	18.2	6.9	8.9	52				23.3	8.13	8.2	105				25	5.92	8.8	55			
2	0	18.3	7.6	8.7	433	4.0	0.75	10.9	23.1	8.5	8.3	456	4.0	0.75	1.3	24.1	5.45	8.7	410	5.0	0.70	18.3
	2	17.3	7.0	8.8	134				22.0	8.4	8.4	121				24.1	5.58	8.7	45			
3	0	18.5	7.5	8.8	388	5.5	0.70	6.4	23.3	8.9	8.4	446	4.5	0.60	7.5	24.4	5.66	8.8	580	5.5	0.40	16.7
	2	18.0	6.9	8.8	119				22.7	9.3	8.4	170				24.4	5.81	8.8	88			
4	0	18.6	7.2	8.6	481	4.5	0.80	7.0	23.4	8.9	8.4	550	4.0	0.60	3.7	25.8	5.51	8.7	548	4.5	0.40	20.8
	2	17.8	7.0	8.7	203				22.9	8.6	8.4	142				24.8	5.5	8.9	66			
5	0	19.5	8.1	8.7	417	3.7	0.75	6.7	23.7	8.9	8.3	507	2.8	0.65	13.7	24.8	5.5	8.7	423	4.5	0.60	6.8
	2	18.6	7.2	8.6	162				23.0	8.3	8.3	220				24.0	4.98	8.6	44			
6	0	18.6	7.5	8.7	415	3.8	0.80	8.8	24.7	8.3	8.3	557	4.0	0.70	8.8	24.4	5.45	8.7	498	4.8	0.60	1.5
	2	18.0	7.2	8.7	105				24.0	8.3	8.5	143				24.1	5.1	8.8	86			
7	0	18.4	7.2	8.8	319	3.4	0.80	3.0	22.2	7.6	8.5	299	4.0	0.75	8.1	24.1	6.15	8.9	350	5.0	0.70	1.6
	2	17.9	7.1	8.5	136				22.0	7.5	8.4	181				24.1	5.84	8.7	40			
8	0	18.2	7.3	8.1	489	3.3	0.70	2.7	23.5	8.0	8.5	354	3.2	0.55	1.2	23.7	5.92	8.9	265	5.5	0.40	3.4
	2	18.0	7.1	8.5	129				23.3	7.6	8.4	177				23.7	5.64	8.8	52			
9	0	18.6	8.0	8.5	295	2.8	0.40	1.9	24.1	8.5	8.4	358	2.7	0.40	8.0	24.4	6.24	8.9	465	4.8	0.45	11.9
	2	18.0	7.1	8.5	149				23.4	7.5	8.4	36				24.0	5.01	8.8	25			
10	0	18.4	8.0	8.4	401	3.1	0.50	9.9	24.3	8.1	8.5	424	2.7	0.40	17.1	24.2	6.46	8.9	507	3.6	0.35	2.1
	2	18.0	7.1	8.4	112				23.8	7.2	8.4	22				24.0	5.45	8.7	89			

Anexo No. 1

Anexo 2. Riqueza específica del fitoplancton en superficie, a dos m de profundidad, sitio y mes de muestreo en Chapala. S: nivel superficial, P: nivel dos metros de profundidad, e: enero, m: mayo, s: septiembre y el símbolo asterisco *: la especie/morfoespecie se presentó en todos los muestreos.

Especie /	Nivel	Sitio																			
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
		S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P
<i>Closterium aciculare</i>	*	em	em	em	em	em	em	em	em	em	em	em	em	em	em	em	em	em	em	em	
<i>Closterium acutum</i>								s						m							
<i>Closterium diana</i>		m										s		s				s	s		
<i>Staurastrum longiradiatum</i>	*	em	em	em	em	m	em	em	em	em	em	*	*	*	em	em	em	em	m	em	
<i>Staurastrum sebaldi ornatum</i>	m		m	m	em	m			m	m	m	ms	e	e	m			e	s		
<i>Staurastrum sebaldii</i>	m		em	em	m	m		em	m	em	m	em	m	m		e	m	m	m	s	
<i>Botryococcus braunii</i>	em	s	es	es	s	ms	s	es	es	*	*	es	*	s	s	es	s	es	s	es	
<i>Crucigenia quadrata</i>						m				m											
<i>Chlorella vulgaris</i>	Es	s	es	es	ms	ms	ms	m	em	ms	m	ms	s	ms	m	ms	ms	ms	m	m	
<i>Botryosphaerella</i> sp.					m	ms	m		m		m										
<i>Oocystis lacustris</i>		m		s	s	s	s		s	s	s	s	ms	s	s	s	s	s	s	s	
<i>Scenedesmus quadricauda</i>		s	ms	m	s			m				m		s	m		m	s	m	m	
<i>Scenedesmus acuminatus</i>			s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	ms	ms	ms	
<i>Scenedesmus bijuga</i>		ms	s	s										m		s				m	
<i>Ankistrodesmus</i> sp.		e	ms	*			em	e		m	m	*		em	m	*	*	m		m	
<i>Kirchneriella obesa</i>												s	s	s							
<i>Treubarina</i> sp.							m									m					
<i>Eudorina elegans</i>	s	s	s	s		s	ms	ms	ms	ms	ms	m		ms	s	m	s	ms	s	m	
<i>Gloeocystis major</i>	*		em	em			m		m	m	em	m		e				m	m		
<i>Pediastrum simplex</i>		m	em	em	m			em	m	em	m	m		m	m					e	
<i>Pediastrum duplex</i>	s	em	m	em	m	m	em	em	s	m	m	*	m	m	m	em	em	em		em	
<i>Ulothrix</i> sp.	s	m												m							
<i>Aphanocapsa rivularis</i>						m	m			m											
<i>Merismopedia glauca</i>	s	ms	m	es		es	s	s	m			s	s	ms		ms	*	m		m	
<i>Synechocystis aquatilis</i>	em		e	e		em	em	e	e	e	e	e	e	e	em	e	em	em	e	e	
<i>Synechococcus</i> sp.1	e	es	es	es			s			e		e						m	ms		
<i>Synechococcus</i> sp.2			e				e				e	e						e			
<i>Microcystis aeruginosa</i>		m	s	es		e				e			m		e	e	s				
<i>Microcystis flos aquae</i>	ms	em	em	*	em	*	*	em	e	em	em	em	*	*	*	e	em	e		*	
<i>Gloeocapsa aeruginosa</i>	*	e	ms	ms	*	*	em	*	ms	ms	em	*	es	*	*	*	*	*	*	em	
<i>Aphanizomenon</i> sp.1	m	m	e	e	em	e	em	m	em	em	m	m	e	e	m	m	em		em	em	
<i>Anabaena flos aquae</i>	em	*	*	*	ms	s	*	ms	e	ms	*	*	*	s	*	*	*	ms	*	*	
<i>Aphanizomenon flos aquae</i>	em	ms	e	es	ms	ms	e		es	es	e	es	es	es	es	e	es	es	s	es	
<i>Anabaena</i> sp.	*	em	s	e	em	em	e	e	m		s	*	m	*	ms	s	s	es	s	es	
<i>Anabaena solitaria</i>	m	s	em							es	m	m		e	*						
<i>Aphanizomenon</i> sp.2		ms	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	ms	s	s	s	s	s	ms	ms	
<i>Aphanizomenon</i> sp.3		s			s					s			s	m							
<i>Lyngbya</i> sp.1	*	em	m	m	em	m	m	m	m	m	em	es	e	m	em	em	em	em	em	m	
<i>Lyngbya</i> sp.2														m			m	ms	s		
<i>Lyngbya</i> sp.3		m											s								
<i>Leptolyngbya</i> sp.		s	s	es		es	s	s		es	es	e		s	s	e	s	s	s		

