

ENSAMBLAJE FITOPLANCTÓNICO DE LA LAGUNA DE CAJITITLÁN, JALISCO DURANTE EL AÑO 2015

Phytoplankton assemblage from Cajititlan Lagoon, Jalisco during the year 2015

Héctor Ocampo-Alvarez¹, Martha Alicia Lara-González¹, Francisco Javier Choix-Ley², Amayaly Becerril-Espinosa³, Manuel Ayón-Parente¹, Ildefonso Enciso-Padilla¹, Eduardo Juárez-Carrillo^{1,4*}.

¹Laboratorio de Ecología Molecular, Microbiología y Taxonomía, Laboratorio de Ecosistemas Marinos y Acuicultura, Departamento de Ecología, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, CP 45110, México, ²CONACYT, Departamento de Ingeniería Química, CUCEI, Universidad de Guadalajara, Blvd M García Barragán 1421, CP 44430 Guadalajara Jalisco, México, ³CONACYT, Departamento de Ecología, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, CP 45110, México, ⁴Instituto de Limnología, Departamento de Ecología, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Ajijic, Jalisco, México.

*Autor para correspondencia: eduardo.jcarrillo@academicos.udg.mx

Resumen

La comunidad fitoplanctónica comprende a los microorganismos fotosintéticos unicelulares que son la base de la red trófica de todos los ecosistemas acuáticos. El análisis de sus ensamblajes es ampliamente utilizado para monitorear el estado ecológico de los cuerpos de agua. Sin embargo, no existen reportes previos del ensamblaje fitoplanctónico en la Laguna de Cajititlán-Jalisco, un cuerpo de agua otrora altamente productivo y ecológicamente sano, pero que actualmente presenta condiciones fisicoquímicas fuera de toda reglamentación ambiental, así como episodios recurrentes de muertes masivas de peces. En este estudio se describen los resultados de un monitoreo mensual del fitoplancton realizado en 5 sitios dentro de la Laguna de Cajititlán durante un año. La comunidad fitoplanctónica comprendió 50 especies fitoplanctónicas pertenecientes a los Phylum: Cyanobacteria, Chlorophyta,

Bacillariophyta y Euglenozoa. Se detectaron tres ensamblajes fitoplanctónicos diferentes durante el periodo del monitoreo. Las especies dominantes persistentes durante todo el año fueron cianobacterias comúnmente asociadas a altos niveles de eutrofización: *Cylindrospermopsis* sp. y *Microcystis* sp., ambas cianobacterias son potencialmente tóxicas, por lo que existe una alta posibilidad de que estas especies contribuyan a los episodios de muertes masivas de peces. Estos resultados, nos permiten concluir que el estado ecológico de la Laguna de Cajititlán es Malo. Proponemos, implementar mecanismos de saneamiento de la Laguna y verificar mediante el monitoreo continuo, que la composición fitoplanctónica se modifique para que las cianobacterias potencialmente tóxicas no sean el componente dominante.

Palabras clave: Cuerpo de agua dulce, Eutrofización, Cianobacterias tóxicas, *Cylindrospermopsis* sp., *Microcystis* sp.

Abstract

The phytoplankton community covers the unicellular-photosynthetic microorganisms, which are the basis of the complex trophic net of all aquatic ecosystems. The analysis of its assemblages is widely used to monitor the ecologic status of water bodies. However, none previous report of phytoplankton assemblages exists in the Laguna de Cajitilán-Jalisco, once a productive and ecologically healthy water body, that now presents recurrent fish mortality episodes. In this study, we present the results of a monthly phytoplankton monitoring performed in five sites among Laguna de Cajitilán-Jalisco over a year. The phytoplankton community harbored 50 phytoplankton species belonged to the phyla: Cyanobacteria, Chlorophyta, Bacillariophyta and Euglenozoa. Three different phytoplankton assemblages were detected in the monitoring period. However, all over the year, the most dominant and persistent species were cyanobacteria, which are frequently associated with high levels of eutrophication: *Cylindrospermopsis* sp. and *Microcystis* sp., Both cyanobacteria are potentially toxic. Therefore, exist a high possibility that this species contributed to the massive fish dead episodes. Our results, let us conclude that Ecological status of Laguna de Cajitilán-Jalisco is bad. We propose to implement environmental sanitation mechanisms in the Lagoon and continue the monitoring program until verify that the phytoplankton composition get modified and none toxic cyanobacteria could be the dominant phytoplankton component.

Keywords: Freshwater body, Cyanobacteria, *Cylindrospermopsis* sp., *Microcystis* sp.

Introducción

El estado ecológico y la estructura de la comunidad de los ecosistemas acuáticos depende en gran medida de la comunidad fitoplanctónica que alberga. El fitoplancton es el grupo de organismos fotosintéticos (la mayoría unicelulares) que están dispersos principalmente en la zona fótica de la columna de agua. Estos organismos a pesar de que sólo constituyen menos del 1% de la biomasa fotosintética en el mundo, aportan hasta el 45% de la productividad primaria mundial y son por consiguiente la base de la cadena trófica de los ecosistemas que habitan. Según la latitud del cuerpo de agua en el que se encuentren, la mayoría de las especies de fitoplancton, tiene ciclos anuales previsibles, que dependen del ciclo estacional climático. Sin embargo, en muchos cuerpos de agua altamente eutrofizados estos ciclos naturales de variación de especies a lo largo del año, prácticamente han desaparecido (Carstensen et al. 2007).

En aguas continentales de México, se han encontrado más de 1025 especies de fitoplancton, correspondientes a 304 géneros de 9 Phylums diferentes: Cyanobacteria, Glaucophyta, Euglenozoa, Cryptophyta, Haptophyta, Dinoflagellata, Ochrophyta, Chlorophyta y Charophyta (Oliva-Martínez et al. 2014). La abundancia y diversidad en los diferentes cuerpos de agua varía según el tamaño del embalse, el tiempo de residencia del agua que alberga o de las variaciones climáticas, pero también por los aportes de aguas grises de zonas urbanas o de tierras de cultivo. El crecimiento de la población, la urbanización, la deforestación y la sobreexplotación de los sistemas de agua superficiales y subterráneos para el abastecimiento de agua representan una

clara amenaza a los ecosistemas de aguas continentales mexicanas. La mayor parte de las aguas residuales generadas por las actividades en la agricultura, la industria y de la población no reciben algún tratamiento antes de ser descargadas a los cuerpos de agua. En el país solo el 20% de las aguas residuales son tratadas (CONABIO Y SEMARNAT, 2009). El agua no tratada afecta los cuerpos de agua dulce con descargas de nutrientes, lo que favorece la aparición de los Florecimientos Algales Nocivos (FAN) que generan problemas como hipoxia y anoxia en la columna de agua (Glibert et al. 2005; Michalak et al. 2013; Newell et al. 2019).

Se conoce como florecimiento algal nocivo, al crecimiento exagerado de una o unas pocas especies de fitoplancton y su permanencia en altas concentraciones por un periodo de tiempo. Los florecimientos algales nocivos en los cuerpos de agua interiores están asociados a muertes masivas de peces ya que la degradación de las células de fitoplancton muertas, consume el oxígeno del cuerpo de agua y las células del fitoplancton pueden tapar las branquias de los peces. También muchos de los FAN producen toxinas que pueden afectar a varias especies incluido el hombre.

En la Laguna de Cajititlán se tienen registro de eventos de mortandad de peces desde el año 2013. Los eventos de mortalidad continúan año con año hasta este 2019. Si bien existieron estudios realizados por diferentes sectores gubernamentales, no existe a la fecha una explicación contundente de este fenómeno que se ha vuelto cíclico y que ha afectado la economía y la ecología de la zona de Cajititlán. Tampoco existen reportes de FAN. Es evidente que una parte importante de la explicación puede estar dada por la ecología del lago y por ende de sus productores primarios “el

fitoplancton”. Es conocido que existen organismos fitoplanctónicos que producen toxinas que pueden provocar muertes de peces.

Un estudio de la ecología del fitoplancton en esta Laguna contribuiría a entender los procesos ecológicos y biogeoquímicos que suceden en el Lago, a la vez que aportaría evidencias de la presencia o ausencia de organismos fitoplanctónicos con potencial tóxico.

En el presente trabajo, se describen y analizan los resultados de un monitoreo de fitoplancton en la Laguna de Cajititlán realizado durante 1 año (2015-2016), para conocer 1) su composición de especies, su abundancia y su variación a lo largo del año 2) también se describe cuáles fueron las especies dominantes, las tóxicas, las inocuas y las raras.

Materiales y métodos

Trabajo de Campo

Los muestreos para fitoplancton se realizaron mensualmente en 5 sitios de la Laguna de Cajititlán (Cuadro 1). Los sitios de muestreo representaban los diferentes ambientes dentro de la Laguna: riveras, cercanía a plantas de tratamiento y el centro de la laguna (Figura 1).

Cuadro 1. Ubicación de los sitios de muestreos

Sitio	Latitud	Longitud	Localidad
Sitio 01	20.423691	103.3604	Cajititlán
Sitio 02	20.430558	103.3164	Cuexcomatlán
Sitio 03	20.418944	103.319778	San Lucas Evangelista
Sitio 04	20.413152	103.3325	San Juan Evangelista
Sitio 05	20.409697	103.299456	Centro



Figura 1. Mapa de la laguna de Cajititlán. Los símbolos dentro de la figura representan cada uno de los sitios de muestreo (recuperado de Google maps <https://www.google.com/maps/>).

Colecta de muestras de agua preservadas para conteo de organismos fitoplanctónicos

La toma de muestra de fitoplancton se realizó mediante un arrastre circular a una velocidad de un nudo (1892 m/h) durante un minuto, con una red cónica de 30 cm de diámetro de boca y 30 μ de luz de malla. Las muestras se fijaron con formaldehído al 10 % para su conservación. Las muestras fueron transportadas al Laboratorio de Ecosistemas Marinos y Acuicultura del CUCBA de la Universidad de Guadalajara para su análisis. Para determinar la riqueza de especies y su abundancia se colectaron 250 mL de agua.

Identificación de especies del fitoplancton

Las muestras se contrastaron con solución lugol, acetato de cobre o tinta china para lograr su mejor observación. El conteo de microalgas se hizo con una cámara de Neubauer de 2 mm de profundidad. Los resultados de abundancia se expresaron en número de células por unidad de volumen (mL). Para la identificación de los organismos se utilizaron criterios y claves taxonómicas y trabajos especializados: (Komárek y

Komárková-Legnerová 2007; Komárek 2015). Los organismos se clasificaron hasta el máximo nivel taxonómico posible.

Análisis de datos

La diversidad ecológica se evaluó mensualmente teniendo como replicas los cinco sitios de muestreo. Se calcularon los índices de riqueza de especies (S) y diversidad de Shannon (H). Estos índices de diversidad ecológica, así como la abundancia fueron evaluados con un análisis de varianza (ANOVA) de una vía seguido de un análisis post hoc de Tukey. La abundancia promedio de las microalgas se representó con un gráfico de sombra y con un cluster de agrupamiento jerárquico. El análisis del ensamblaje se visualizó en una gráfica de análisis de Coordenadas Principales (PCO) empleando una matriz de Bray-Curtis de los datos de abundancia transformados a raíz cuarta, los análisis estadísticos se realizaron usando la paquetería de Primer 7.013 (Clarke and Gorley 2016).

Resultados y Discusión

Se detectaron un total de 50 especies fitoplanctónicas durante el monitoreo (Cuadro 2). Es importante destacar que de las 50 especies fitoplanctónica detectadas en la Laguna de Cajititlán, 11 han sido reportadas como productoras de toxinas en otros cuerpos de agua. Este descubrimiento es muy importante pues con frecuencia se reportan muertes masivas de peces y organismos acuáticos de vida libre, lo cual podría estar relacionado con la presencia de estas especies de fitoplancton. Esto es especialmente importante en el caso de la cianobacteria *Cylindrospermopsis* sp. pues esta se encontró presente en el 100% de

Cuadro 2. Lista de especies fitoplanctónicas encontradas en la laguna de Cajititlán-Jalisco y representatividad (% de presencia en el total de sitios)

Sitios	60	30	18	1 o más	Sitios	60	30	18	1 o más
Representatividad	100%	50%	30%	<30%	Representatividad	100%	50%	30%	<30%
Especies encontradas	1	15	25	50	Especies	1	15	25	50
<i>Actinastrum</i> sp.		X	X		<i>Gomphosphaeria lacustris</i>				X
<i>Anacistis</i> sp.				X	<i>Kirchneirella</i> sp.		X	X	X
<i>Ank falcatus</i> sp.				X	<i>Leptolyngbya</i> sp.			X	X
<i>Ankistrodesmus</i> sp.		X	X	X	<i>Lyngbya lagerheimii</i>				X
<i>Aphanizomenon</i> sp.				X	<i>Lyngbya</i> sp.			X	X
<i>Aphanothece</i> sp.				X	<i>Merismopedia</i> sp.		X	X	X
<i>Aulacoseira</i> sp.		X	X	X	<i>Mycrocistis</i> sp.		X	X	X
<i>Botryococcus</i> sp.				X	<i>Monoraphydium</i> sp.		X	X	X
<i>Chlamydomonas</i> sp.				X	<i>Navicula</i> sp.			X	X
<i>Chlorella</i> sp.		X	X	X	<i>Nitzschia</i> sp.			X	X
<i>Chroococcus</i> sp.				X	<i>Oscillatoria</i> sp.				X
<i>Cymbella</i> sp.				X	<i>Pandorina</i> sp.				X
<i>Closterium</i> sp.				X	<i>Phacus</i> sp.		X	X	X
<i>Coscinodiscus</i> sp.				X	<i>Pinnularia</i> sp.				X
<i>Coelastrum</i> sp.				X	<i>Planktothrix</i> sp.		X	X	X
<i>Coelosphaerium</i> sp.				X	<i>Pleurocapsa</i> sp.				X
<i>Crucigenia tetrapoda</i>			X	X	<i>Pseudoanabaena</i> sp.		X		X
<i>Cylindrospermopsis</i> sp.	X	X	X	X	<i>Raphidiopsis</i> sp.		X	X	X
<i>Eudorina</i> sp.		X	X	X	<i>Rivularia</i> sp.				X
<i>Euglena</i> sp.			X	X	<i>Scenedesmus acuminatus</i>		X	X	X
<i>Fragilaria</i> sp.				X	<i>Scenedesmus quadricauda</i>			X	X
<i>Gloeocystis</i> sp.				X	<i>Scenedesmus dimorphus</i>				X
<i>Gloeopcapsa</i> sp.			X	X	<i>Selenastrum</i> sp.				X
<i>Golenkinia</i> sp.				X	<i>Synechococystis</i> sp.			X	X
<i>Gomphosphaeria lacustris</i>				X	<i>Tetrastrum</i> sp.				X
<i>Kirchneirella</i> sp.		X	X	X	<i>Treubaria</i> sp.				X

los sitios de colecta realizados durante los 12 muestreos realizados (1 muestreo por mes, 5 sitios de muestreo, 60 muestras totales).

En contraste, las especies que estuvieron presentes en uno de cada 2 sitios de muestreo (50% de representatividad) fueron 15: *Actinastrum* sp., *Ankistrodermus* sp., *Aulacoseira* sp., *Planktothrix* sp., *Chlorella* sp., *Eudorina* sp., *Kirchneirella* sp., *Merismopedia* sp., *Microcystis* sp., *Monoraphidium* sp., *Cylindrospermopsis* sp., *Pseudoanabaena* sp., *Raphidiopsis* sp., *Scenedesmus acuminatus* y *Phacus* sp.. Las otras 35 especies tuvieron una representatividad menor al 50% de los sitios durante todo el ciclo anual (Cuadro 2)

Índices de diversidad ecológica; variación temporal

La variación temporal de los tres índices ecológicos riqueza de especies, Índice de Shanon y Abundancia, en función del mes de muestreo fue estadísticamente significativas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Índices de diversidad de la comunidad fitoplanctónica.

Índice de diversidad	ANOVA	
	Pseudo-F	P (perm)
S	3.676	0.0012
H	3.7687	0.0009
N	3.2033	0.0029

La mayor riqueza de especies se registró en el mes de noviembre con 21.8 ± 1.3 especies, mientras que la menor riqueza de especies se registró en el mes de febrero y marzo con 10.6 ± 1.5 en ambos meses. Estos dos meses (febrero y marzo) fueron estadísticamente diferentes a los meses de julio, noviembre y diciembre (Figura 2). La abundancia

mayor de fitoplancton se detectó en el mes de noviembre con 77.4 cel mL^{-1} mientras que la menor abundancia se registró en el mes de marzo, con 24 cel mL^{-1} , lo cual coincide con el comportamiento de la riqueza de especies. Así mismo, el índice de diversidad de Shannon fue mayor en los meses de agosto y diciembre; ambos fueron estadísticamente diferentes ($p < 0.05$, $H' > 2.6$), al valor del índice de shanon encontrado en diciembre ($H' = 1.83$) (Figura 2).

Ensamblaje de fitoplancton; variación temporal

Mediante un análisis de Cluster y una prueba SIMPROF con un 90% de confianza, se identificó que el ensamblaje fitoplanctónico de Cajitilán durante un ciclo anual presentó cambios en función del tiempo, lo que derivó en tres ensamblajes transitorios: El primer ensamblaje transitorio se mantuvo estable del mes de abril hasta el mes de julio, sin embargo se registró un cambio en la composición que dio como resultado un segundo ensamblaje transitorio el cual fue estable durante dos meses: agosto y septiembre y finalmente, se registró un ensamblaje distinto a los dos anteriores durante el mes de febrero y marzo (Figura 3).

Los tres ensamblajes transitorios de la comunidad fitoplanctónica detectados por el análisis del cluster, también fueron representados claramente en un análisis de ordenación por componentes coordinados PCO, en el cual se explica hasta un 56% de la variación del ensamblaje fitoplanctónico a través del tiempo (Figura 4). Es importante destacar que la variación del ensamblaje de especies fitoplanctónicas puede tener múltiples factores de inducción, que van desde los factores ambientales asociados a la estacionalidad: temperatura, salinidad,

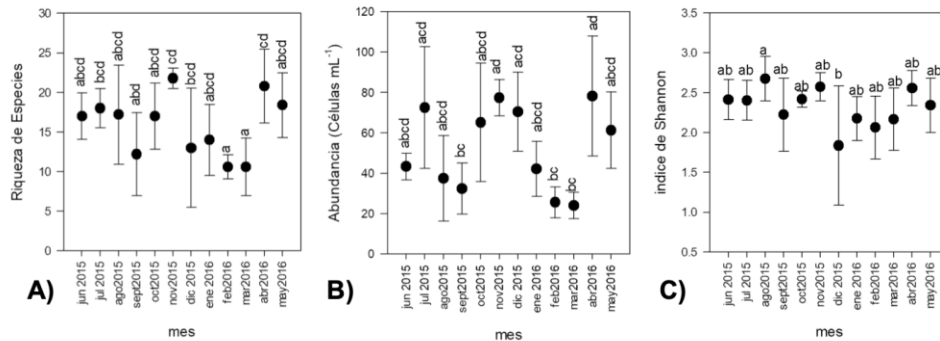


Figura 2. Índices de diversidad de la comunidad fitoplanctónica.

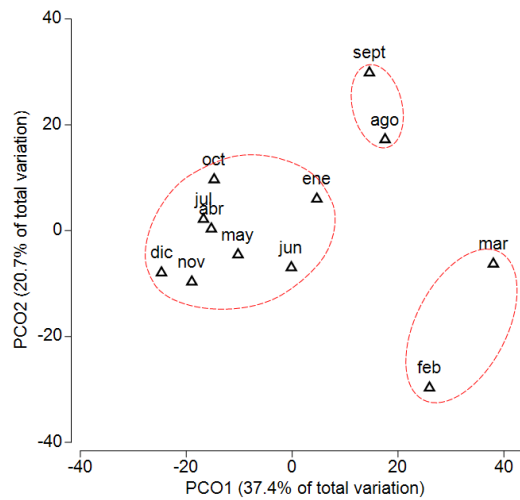


Figura 3. Shadeplot de la abundancia de las especies fitoplanctónicas dominantes en la Laguna de Cajititlán. En la parte superior de la figura, se representa el Cluster de agrupamiento jerárquico, con los 3 grupos diferenciados. En la parte lateral izquierda los símbolos representan la toxicidad reportada de la especie. Circulo azul = sin toxicidad reportada; Triangulo inverso rojo= especie reportada como tóxica.

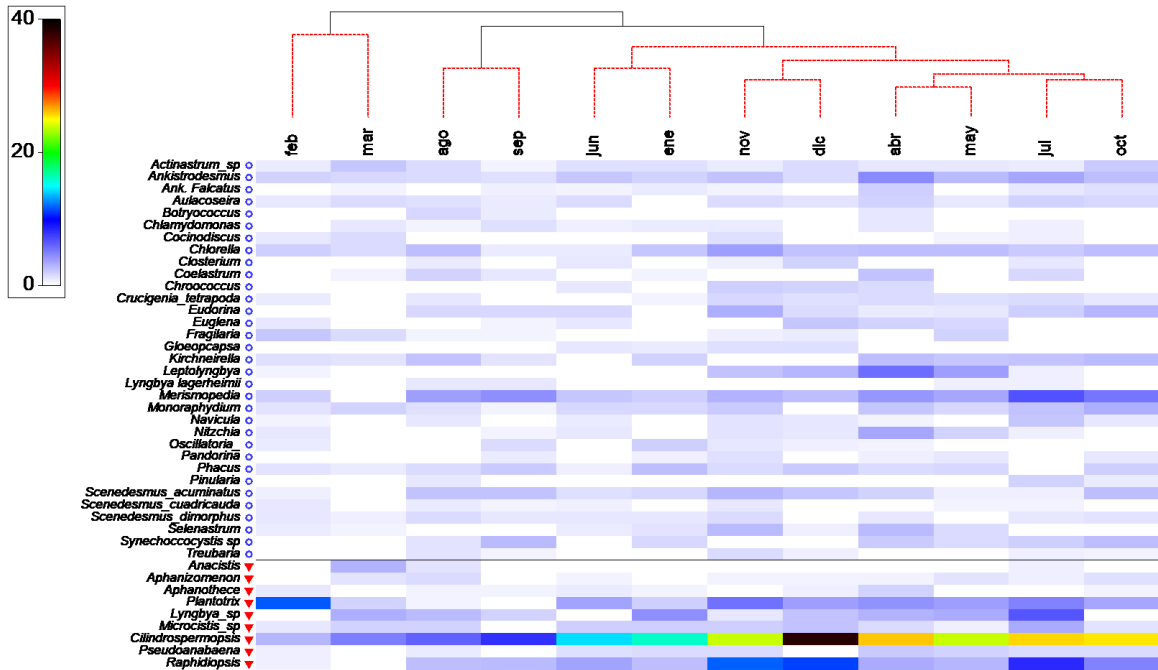


Figura 4. Ordenamiento por coordenadas principales de la comunidad fitoplanctónica presente en la Laguna de Cajititlán durante un año de muestreo. Se muestran tres ensamblajes distintos a lo largo del monitoreo de un año: 1) Febrero y marzo, 2) septiembre y agosto y 3) el resto de los meses de año.

pH, oxígeno disuelto; a los factores humanos asociados a la contaminación, como la eutrofización, la contaminación y la desecación por uso del recurso hídrico.

En general la Laguna de Cajititlán-Jalisco presentó una comunidad fitoplanctónica cuya composición presentó tres variaciones importantes durante el periodo de mayo 2015 – abril 2016. Sin embargo, los componentes fitoplanctónicos más abundantes y persistentes en la mayoría de los sitios muestreados todos los meses corresponde a dos cianobacterias: *Cylindrospermopsis* sp. y *Microcystis* sp. las cuales han sido asociadas a eutrofización en otros lagos alrededor del mundo (Binding et al. 2019; Gomes et al. 2013; Michalak et al. 2013; Newell et al. 2019; Wood et al. 2005). Es evidente que la Laguna de Cajititlán se

encuentra bajo un problema de eutrofización generado por las actividades antropogénicas realizadas alrededor de este ecosistema, principalmente el vertido de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales. Es bien conocido que los florecimientos algales son más frecuentes en ecosistemas que han sufrido ciertas formas de interferencia humana, entre las cuales se destaca por su importancia, la eutrofización o enriquecimiento de las aguas con nutrientes, tales como las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas. Específicamente, lo anterior tiene efectos sobre las especies acuáticas y también sobre la calidad del agua al agotarse el oxígeno. Lo anterior modifica las características del cuerpo de agua resultando en ecosistemas con una biodiversidad reducida y con especies

oportunistas ocupando nichos previamente ocupados por otras especies. A pesar de que los ecosistemas acuáticos pueden tener sus propias poblaciones de cianobacterias, su dominancia dependerá no solo del clima sino también de condiciones geoquímicas específicas del propio cuerpo de agua. En este contexto, la Laguna de Cajititlán aunque presentó tres principales variantes en su composición a lo largo del año, siempre fueron las cianobacterias las dominantes durante el ciclo de estudio evaluado (mayo 2015- abril 2016). Lo anterior, sugiere que la eutrofización de la Laguna de Cajititlán se debió haber mantenido durante todo el año, permitiendo la dominancia de ambas cianobacterias. Sin embargo, el problema de fondo en esta Laguna es que estas cianobacterias además de estar relacionadas con alta eutrofización del cuerpo de agua, también han sido catalogadas como potencialmente tóxicas y se han encontrado como especies persistentes y dominantes en todas las estaciones de muestreo a lo largo de todos los meses del ciclo de estudio. Este resultado implica que mientras que las variables ambientales cambiantes estacionalmente lo largo del año modularon la composición de otras especies minoritarias lo que generó los tres ensamblajes diferentes, un factor preponderante durante todo el año favoreció la presencia y dominancia del grupo de ambas cianobacterias potencialmente tóxicas.

Anteriormente, otros estudios han atribuido la decadencia de la Laguna de Cajititlán a la baja concentración de oxígeno lo cual induce una condición anóxica en donde no pueden crecer la mayoría de organismos acuáticos. Sin embargo, la abundancia de cianobacterias potencialmente tóxicas en este ecosistema no se ha considerado y/o se ha descuidado como un factor que contribuya en el

deterioro de este cuerpo de agua y de las actividades económicas que sustentan la supervivencia de las comunidades alrededor de la misma. Por ejemplo, se ha demostrado que diferentes especies de ambas cianobacterias (*Cylindrospermopsis* y *Microcystis*) han provocado la mortandad de peces y mascotas en diferentes ecosistemas a nivel mundial como el Lago Taihu en China (Qiao et al. 2018), Lago Aleksandrovac en Serbia (Svirčev et al. 2016) entre otros. Más aun, las toxinas como cilindrospermopsina y las microcistinas, se pueden bioacumular en animales como caracoles y formar parte de las redes alimentarias, lo que conlleva a una amenaza potencial para la salud humana (Binding y Lind 2010).

Conclusiones

El análisis del ensamblaje fitoplanctónico realizado en la Laguna de Cajititlán, permitió conocer la composición, variación de especies, así como la presencia de grupos específicos de fitoplancton con características propias de cuerpos de agua eutrofizados y que además presentan la capacidad de producir toxinas: *Cylindrospermopsis* sp. y *Microcystis* sp. Ambas especies de cianobacterias, se encontraron durante todo el año y de forma dominantes en la Laguna de Cajititlán. Es conveniente realizar más estudios para determinar si particularmente bajo las condiciones de la Laguna de Cajititlán, estas especies presentan toxicidad, que tipo de toxina producen y si esta toxina puede ser considerada como causante de muertes de peces. A reserva de comprobar la toxicidad específicamente en este cuerpo de agua, su presencia debe ser considerada como un importante y serio factor de riesgo a la población humana y considerar prioritario un manejo integral que

contribuya a la restauración ecológica de este cuerpo de agua.

Por lo anterior, nosotros sugerimos establecer medidas integrales para modificar el ensamblaje fitoplanctónico, favoreciendo las especies no tóxicas. Sin embargo, no se deben utilizar estrategias que causen mayor contaminación, sino estrategias ambientalmente amigables, como las de biocontrol de floraciones y limpieza mediante dragado del cuerpo de agua, así como la modificación de la hidrodinámica del cuerpo de agua para favorecer la recirculación y mezcla de la misma. Ciertamente la estrategia a largo plazo tiene que ver con la regulación de los aportes de agua residual a este cuerpo de agua, la cual debe estar sometida a tratamientos para eliminar en lo posible los aportes de materia orgánica y nutrientes.

Literatura citada

- Berry, J. P., y Lind, O. (2010). First evidence of “paralytic shellfish toxins” and cylindrospermopsin in a Mexican freshwater system, Lago Catemaco, and apparent bioaccumulation of the toxins in “tegogolo” snails (*Pomacea patula catemacensis*). *Toxicon*, 55(5), 930–938.
<https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2009.07.035>
- Binding, C. E., Zastepa, A., y Zeng, C. (2019). The impact of phytoplankton community composition on optical properties and satellite observations of the 2017 western Lake Erie algal bloom. *Journal of Great Lakes Research*, 45(3), 573–586.
<https://doi.org/10.1016/j.jglr.2018.11.015>
- Carstensen, J., Henriksen, P., y Heiskanen, A. S. (2007). Summer algal blooms in shallow estuaries: Definition, mechanisms, and link to eutrophication. *Limnology and Oceanography*, 52(1), 370–384.
- Clarke, K. R., Gorley, R. N., Somerfield, P. J., and Warwick, R. M. (2015). *Change in marine communities: An Approach to Statistical Analysis and interpretation*. 3rd ed. United Kingdom: PRIMER--E: Plymouth.
- Glibert, P. M., Anderson, D. M., Gentien, P., Granéli, E., y Sellner, K. G. (2005). The global complex phenomena of harmful algal blooms. *Pceanography*, 18(2), 136–147.
- Gomes, A. M. A., Marinho, M. M., y Azevedo, S. M. F. O. 2013. Which factors are related to the success of *Cylindrospermopsis raciborskii* in Brazilian aquatic systems? Pp. 73–94 En Aloysio Da S. Ferrão-Filho *Cyanobacteria: Ecology, Toxicology and Management*, Publisher: Nova Science Publishers, Rio de Janeiro RJ, Brazil. 237pp. [ISBN 978-1-62417-966-2]
- Komárek, Jiři, y Komárková-Legnerová, J. (2007). Several rare freshwater planktic Cyanobacteria (Cyanoprokaryotes) from reservoirs in South America. *Hoehnea*, 34(1), 49–58. <https://doi.org/10.1590/s2236-89062007000100002>
- Komárek, Jiří. (2015). Review of the cyanobacterial genera implying planktic species after recent taxonomic revisions according to polyphasic methods: State as of 2014. *Hydrobiologia*, 764(1), 259–270.

- <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2242-0>
- Michalak, A. M., Anderson, E. J., Beletsky, D., Boland, S., Bosch, N. S., Bridgeman, T. B., Chaffin, J. D., Cho, K., Confesor, R., Daloglu, I., Depinto, J. V., Evans, M. A., Fahnenstiel, G. L., He, L., Ho, J. C., Jenkins, L., Johengen, T. H., Kuo, K. C., Laporte, E., Liu, X., McWilliams, M. R., Moore, M. R., Posselt, D. J., Richards, R. P., Scavia, D., Steiner, A. L., Verhamme, E., Wright, D. M., Zagorski, M. A., (2013). Record-setting algal bloom in Lake Erie caused by agricultural and meteorological trends consistent with expected future conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(16), 6448–6452. doi:10.1073/pnas.1216006110
- Newell, S. E., Davis, T. W., Johengen, T. H., Gossiaux, D., Burtner, A., Palladino, D., y McCarthy, M. J. (2019). Reduced forms of nitrogen are a driver of non-nitrogen-fixing harmful cyanobacterial blooms and toxicity in Lake Erie. *Harmful Algae*, 81, 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2018.11.003>
- 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, S54–S61. <https://doi.org/10.7550/rmb.32706>
- Qiao, F., Lei, K., Han, X., Wei, Z., Zhao, X., An, L., y LeBlanc, G. A. (2018). No impacts of microcystins on wild freshwater snail *Bellamya Aeruginosa* fecundity from a eutrophic lake. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 60(8), 165–168. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2018.04.024>
- Svirčev, Z., Obradović, V., Codd, G. A., Marjanović, P., Spooof, L., Drobac, D., Tokodi, N., Petkovic, A., Nenin, Tanja., Simeunovic, Jelica., Vazic, T., y Meriluoto, J. (2016). Massive fish mortality and *Cylindrospermopsis raciborskii* bloom in Aleksandrovac Lake. *Ecotoxicology*, 25(7), 1353–1363. <https://doi.org/10.1007/s10646-016-1687-x>
- Wood, S. A., Crowe, A. L. M., Ruck, J. G., y Wear, R. G. (2005). New records of planktonic cyanobacteria in New Zealand freshwaters. *New Zealand Journal of Botany*, 43(2), 479–492. <https://doi.org/10.1080/0028825X.2005.9512969>