

Floraciones algales nocivas en lagos y lagunas de El Salvador

Harmful algal blooms in lakes and lagoons of El Salvador

Rebeca Quintanilla, Oscar Amaya y Jeniffer Guerra

Laboratorio de Toxinas Marinas LABTOX-UES, Facultad de
Ciencias Naturales y Matemática, Universidad de El Salvador, Final
Av. Mártires y Héroe del 30 de julio, San Salvador, El Salvador,
E-mail: cesiah.quintanilla@ues.edu.sv

RESUMEN

En los últimos años se ha incrementado el reporte de floraciones algales nocivas en cuerpos de agua dulce de El Salvador, especialmente en la zona centro-occidental del país. Desde el año 2014 hasta 2018 se realizaron campañas de muestreo en dos lagos (Ilopango y Coatepeque) y dos lagunas (Cuzcachapa y Metapán), donde se reportó la ocurrencia de floraciones algales nocivas. En todos los cuerpos de agua se tomaron muestras subsuperficiales en al menos cuatro puntos de muestreo, arriba de la profundidad de compensación utilizando botella Van Dorn. Se detectó la ocurrencia de ocho eventos de floraciones algales nocivas, en los cuales las cianobacterias han sido las especies causantes o codominantes, alcanzado abundancias celulares máximas que superan las 600 000 cél./mL. Se identificaron ocho géneros causantes de proliferaciones, de los cuales siete pertenecen a la clase Cyanophyceae (*Cylindrospermopsis*, *Anabaena*, *Dolichospermum*, *Microcystis*, *Raphidiopsis*, *Synechococcus* y *Lyngbya*) y uno a la clase Dinophyceae (*Gymnodinium*). En cinco de los ocho eventos de proliferación, las abundancias celulares de cianobacterias superaron el nivel de riesgo moderado para aguas recreacionales según estándares de la Organización Mundial de la Salud. Es necesario establecer un programa permanente de monitoreo de floraciones algales en cuerpos de agua dulce de El Salvador para determinar el nivel de riesgo de intoxicación por cianotoxinas al que podría enfrentarse la población en zonas aledañas a los cuerpos de agua.

Palabras clave: cianobacterias, fitoplancton, floraciones algales nocivas, El Salvador.

ABSTRACT

In recent years there has been an increase in the report of harmful algal blooms in freshwater bodies in El Salvador, especially in the central-western part of the country. From 2014 to 2018, sampling campaigns were conducted in two lakes (Ilopango and Coatepeque) and two lagoons (Cuzcachapa and Metapán), where harmful algal blooms were reported. In all waterbodies, subsurface samples were taken in at least four sampling points, above the compensation depth using a Van Dorn bottle. Eight harmful algal bloom events were detected, in which cyanobacteria were the causative or co-dominant species, reaching maximum cell abundances exceeding 600,000 cells/mL. Eight genera were identified as causing proliferations, of which seven belong to the Cyanophyceae class (*Cylindrospermopsis*, *Anabaena*, *Dolichospermum*, *Microcystis*, *Raphidopsis*, *Synechococcus* and *Lyngbya*) and one to the Dinophyceae class (*Gymnodinium*). In five of the eight proliferation events, the cellular abundances of cyanobacteria exceeded the moderate risk level for recreational waters according to World Health Organization standards. It is necessary to establish a permanent monitoring program of algal blooms in freshwater bodies in El Salvador to determine the level of risk of cyanotoxin poisoning that the population in areas surrounding the waterbodies could face.

Keywords: cyanobacteria, phytoplankton, harmful algal blooms, El Salvador.

Recibido: 4/3/19

Revisado: 6/5/19

Aceptado: 18/9/19

INTRODUCCIÓN

Las floraciones algales nocivas (FAN) son fenómenos que han afectado en las últimas décadas a la mayoría de cuerpos de agua continental (O'Neil *et al.*, 2012). Aunque son fenómenos naturales, el excesivo crecimiento del fitoplancton refleja variaciones en las condiciones ambientales como el incremento de nutrientes, temperatura, alta intensidad de luz, pH y estabilidad de la columna de agua (Robarts & Zohary, 1987, Jacoby *et al.*, 2000, Davis *et al.*, 2009). El incremento en la ocurrencia de las floraciones algales es considerado dentro de los sistemas acuáticos como uno de los principales efectos de la eutrofización y el cambio climático (O'Neil *et al.*, 2012; Paerl & Otten, 2013a).

Las cianobacterias son el grupo del fitoplancton de agua dulce que presenta proliferaciones con mayor frecuencia (Vasconcelos, 2006). Se sabe que muchos géneros de cianobacterias como *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermopsis*, entre otras, ocasionan problemas estéticos como la aparición de espumas y olores desagradables, alteran el sabor del agua de consumo y, al descomponerse, causan desoxigenación modificando la química del agua (O'Neil *et al.*, 2012; Paerl & Otten, 2013b; Vasconcelos, 2006).

Además, las cianobacterias poseen un alto potencial tóxico debido a la producción de metabolitos intracelulares denominados cianotoxinas, que pertenecen a diversos grupos de sustancias químicas, cada uno de los cuales presenta mecanismos de toxicidad específicos. Algunas cianotoxinas son potentes neurotoxinas, otras poseen actividad tóxicas primaria sobre el hígado (hepatotoxinas) o reacciones alérgicas en la piel (Brena & Bonilla, 2009). Si bien muchos de estos compuestos tienen efectos tóxicos reconocidos, el impacto y los efectos a largo plazo de muchos de estos también se desconocen (Chorus *et al.*, 2000; Bláhová *et al.*, 2008). Sin embargo, es reconocido que el aumento en la proliferación de cianobacterias tóxicas constituye un serio problema para los ecosistemas acuáticos y la salud humana (Poste, Hecky & Guildford, 2011).

En El Salvador, los reportes de floraciones algales nocivas en cuerpos de agua continentales han ido en incremento en los últimos cinco años, ocasionando episodios de anoxia y mortandad de peces. Considerando la relevancia y el aumento de proliferaciones algales en lagunas y lagos de El Salvador se hace necesario registrar las especies responsables de estos fenómenos que permitan establecer una línea base para el monitoreo de los mismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Desde el año 2014 se han realizado campañas de muestreo en dos lagos (Ilopango y Coatepeque) y dos lagunas (Cuzcachapa y Metapán) ubicados en el centro-occidente de El Salvador, donde se ha reportado la ocurrencia de floraciones algales nocivas (Fig. 1). De los cuerpos de agua muestreados, tres son de origen volcánico: los lagos Ilopango, Coatepeque y la laguna Cuzcachapa.

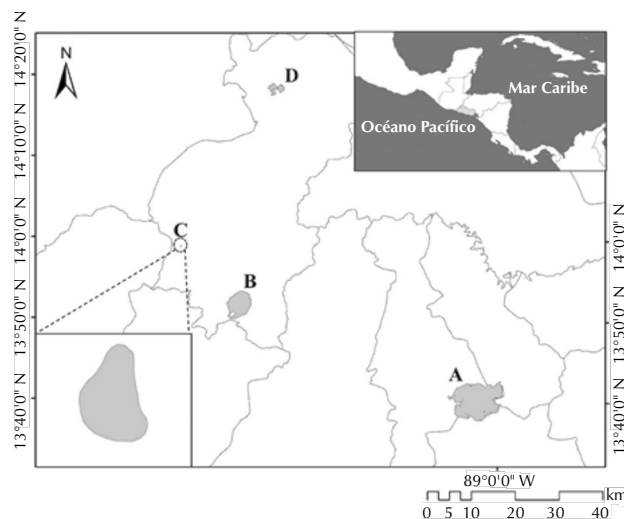


Fig. 1. Ubicación de sitios de muestreo. A: Lago de Ilopango, B: Lago de Coatepeque, C: Laguna de Cuzcachapa, D: Laguna de Metapán.

El lago de Ilopango es el cuerpo de agua natural de mayor extensión en el país con 70,5 km², ubicado en la zona central del país a 10 km de la capital. Este lago sostiene una importante actividad pesquera y acuícola, además de servir como cuerpo de abastecimiento de agua que es potabilizada para distribuirla en la capital. La laguna de Cuzcachapa tiene una extensión de 0,06 km² y se ubica en un entorno periurbano a 80 km de la capital; es utilizada como área de recreo por los habitantes de la ciudad y ocasionalmente para pesca, además recibe contaminación directa por lavaderos de ropa. El lago de Coatepeque es una laguna cratérica con una superficie de 23,8 km², ubicado en el suroccidente del país a 68 km de la capital.

La laguna de Metapán se ubica en el noroeste de El Salvador, a 117 km de la capital, tiene una extensión de 16 km² en época lluviosa y 14 km² en época seca, recibe directamente las aguas residuales del municipio aledaño (Jiménez, Sánchez-Mármol & Herrera, 2004).

Las campañas de muestreo se enmarcaron en el Programa de Monitoreo de Floraciones Algales Nocivas que ejecuta el Laboratorio de Toxinas Marinas y fueron realizadas como respuesta a reportes hechos por la población en zonas aledañas o a petición de instituciones estatales.

Durante las floraciones algales, se recolectaron muestras a nivel subsuperficial con frascos de 500 mL y por encima de la profundidad de compensación, según fuera el caso, utilizando botella Van Dorn de 5 L, además de red de fitoplancton de 20 µm de poro. Las muestras fueron preservadas con lugol al 0,3-1 % dependiendo de la concentración de fitoplancton en la muestra. En todos los cuerpos de agua se colectaron muestras en al menos cuatro puntos.

En el laboratorio las muestras fueron analizadas con un microscopio invertido Zeiss AxioVert 40 CFL y cuantificadas en células por mililitro (cel./mL) utilizando cámara Sedgewick-Rafter según lo descrito por Villafañe & Reid (1995).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desde el 2014 hasta el 2018 se ha registrado la ocurrencia de ocho eventos de proliferaciones algales nocivas en lagos y lagunas del centro-occidente del país (TABLA 1). Se han identificado ocho géneros causantes de proliferaciones algales nocivas, de los cuales uno pertenece a la clase Dinophyceae (*Gymnodinium*) y el resto pertenece a la clase Cyanophyceae (Fig. 2). Las abundancias celulares de las especies causantes van desde 4,035-694,796 cél./mL. Es ampliamente reconocida la capacidad de varias especies de cianobacterias para proliferar en cuerpos de agua dulce y producir toxinas que afectan el funcionamiento de los ecosistemas y su uso para actividades humanas (Paerl & Otten, 2013a).

TABLA 1. Abundancias celulares durante eventos de proliferaciones algales nocivas en lagos y lagunas de El Salvador en el período 2014-2018

Fecha	Lugar	Especie causante	Abundancia celular (cél./mL)
Julio, 2014	Laguna de Metapán	<i>Cylindrospermopsis</i> sp.	18 600
Octubre, 2014	Laguna de Metapán	<i>Anabaena</i> sp.	19 000
Mayo, 2015	Lago de Ilopango	<i>Dolichospermum</i> cf. <i>flosaquae</i>	358 000
Noviembre, 2016	Laguna de Cuzcachapa	<i>Microcystis</i> spp.	4 750
		<i>Gymnodinium paradoxum</i>	7 620
		<i>Raphidiopsis</i> sp.	4 035
Abril, 2017	Lago de Coatepeque	<i>Microcystis</i> cf. <i>aeruginosa</i>	168 300
Noviembre, 2017	Laguna de Cuzcachapa	<i>Synechococcus</i> sp.	130 333
Mayo, 2018	Lago de Coatepeque	<i>Lyngbya</i> sp.	694 796
Noviembre, 2018	Lago de Coatepeque	<i>Lyngbya</i> sp.	200 970

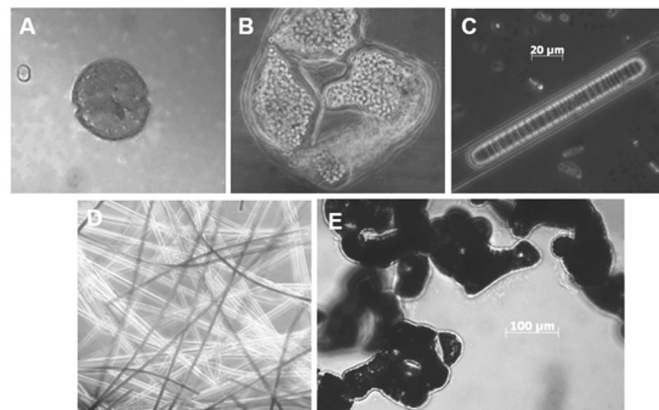


Fig. 2. A) *Gymnodinium paradoxum* y B) *Microcystis* sp. encontrados en Laguna de Cuzcachapa. C) Filamento de *Lyngbya* sp., D) Proliferación de *Lyngbya* sp. y E) *Microcystis* cf. *aeruginosa* encontradas en lago de Coatepeque.

Los géneros de cianobacterias causantes de proliferaciones en lagos y lagunas de El Salvador, con excepción de *Synechococcus*, son reportados en la literatura como potenciales productores de cianotoxinas, que incluyen microcistinas, cylindrospermopsina, saxitoxinas, anatoxinas y lyngbyatoxinas (Brena & Bonilla, 2009; Paerl & Otten, 2013b).

No obstante, no se han realizado análisis de concentración de toxinas que comprueben la amenaza que estas proliferaciones pudiesen representar para la salud humana de las zonas aledañas a los cuerpos de agua estudiados.

En cinco de los ocho eventos de proliferaciones algales, la abundancia celular de cianobacterias causantes de la proliferación alcanzó niveles de riesgo moderados para la población (superior a 100 000 cél./mL de cianobacterias), según los valores límite guía establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para aguas recreacionales (Chorus & Bartram, 1999) (Fig. 3). Muchos países han desarrollado valores guía para cianotoxinas en agua potable, basados en la recomendación de la OMS, la cual establece valores guía tanto para cianotoxinas como para la abundancia celular de cianobacterias (Bonilla *et al.*, 2009).

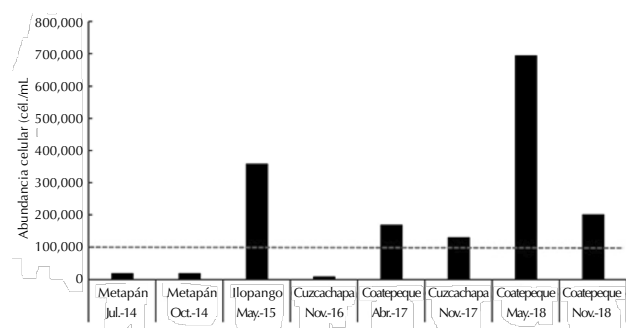


Fig. 3. Abundancia celular de cianobacterias durante eventos de proliferación. La línea punteada indica el nivel guía para alerta moderada para aguas recreacionales según la OMS (1999).

La proliferación algal de mayor abundancia celular corresponde a *Lyngbya* sp. y ha sido registrada en el lago de Coatepeque. Las proliferaciones de este género únicamente se han reportado en este cuerpo de agua y han alcanzado una abundancia celular que supera las 600 000 cél./mL. En las dos ocasiones que *Lyngbya* sp. ha proliferado en el lago de Coatepeque (mayo y noviembre de 2018), ha formado masas filamentosas que se acumulan subsuperficialmente en la columna de agua (Figs. 4A y 4B). Las proliferaciones de *Lyngbya* se han vuelto comunes en cuerpos de agua enriquecidos con nutrientes, incluyendo los que se ven sometidos a perturbaciones antropogénicas (Paerl & Otten, 2013b).

Aunque en menor abundancia, *Lyngbya* sp. es una especie permanente en el tiempo dentro de la columna de agua del lago de Coatepeque, por lo que es posible determinar que las proliferaciones son de origen planctónico, y no bentónico como ocurre con algunas especies de *Lyngbya* (Osborne *et al.*, 2007; Hudon *et al.*, 2014).

Las proliferaciones de *Microcystis* spp. se observaron como parches densos de color verde flotando en superficie y las colonias de *Microcystis* spp. fueron observables a simple vista (Fig. 4C).

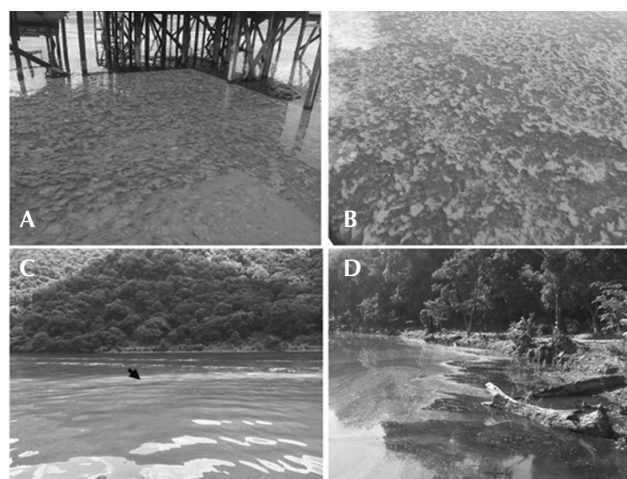


Fig. 4. Apariencia de los eventos de floraciones algales nocivas causadas por: A y B) *Lyngbya* sp. en lago de Coatepeque; C) *Microcystis* spp. en lago de Coatepeque; D) *Gymnodinium paradoxum*, *Microcystis* spp. y *Raphidiopsis* sp. en laguna de Cuzcachapa.

Las floraciones de *Microcystis* son reportadas como recurrentes en cuerpos de agua dulce y suministros de agua, lo que causa problemas por malos olores en el agua y problemas de toxicidad hepática (Bittencourt-Oliveira *et al.*, 2001).

Tanto en la laguna de Cuzcachapa como el lago de Coatepeque se ha identificado la presencia de distintas morfoespecies del género *Microcystis*, como lo es *Microcystis* cf. *aeruginosa*. Dadas las dificultades para identificar las especies del género *Microcystis* únicamente basándose en las características morfológicas de las colonias (Otsuka *et al.*, 2000; Otsuka *et al.*, 2001), se han cuantificado en conjunto todas las morfoespecies de este género al no contar con las técnicas apropiadas para realizar una identificación taxonómica certera. Hoy por hoy, la morfología por sí sola es insuficiente para realizar la identificación taxonómica de las especies de cianobacterias, por lo que se hace necesario incorporar análisis moleculares y de toxinas (Komárek, 2016).

En algunos de los casos, las proliferaciones han sido causadas por más de una especie, como es el caso de la laguna de Cuzcachapa, en donde *Raphidopsis* sp. y *Microcystis* spp. fueron codominantes en la proliferación de *Gymnodinium paradoxum* A. J. Schilling (Fig. 4D). Esta proliferación coincidió con la mortandad masiva de alevines de tilapia (*Oreochromis* sp.) en la laguna, lo que generó una alarma social y pérdidas para pescadores de la zona. La codominancia de *Microcystis* durante proliferaciones en cuerpos de agua dulce es un fenómeno que ha sido previamente reportado (Carrasco *et al.*, 2006; Moura, Aragão-Tavares & Amorim, 2018). Por otra parte, las proliferaciones de dinoflagelados en cuerpos de agua dulce están vinculadas al enriquecimiento por nutrientes que favorecen su crecimiento, incluyendo al género *Gymnodinium*, y que pueden llegar a causar condiciones drásticas de anoxia que afectan a la fauna del ecosistema (Paerl *et al.*, 2001).

CONCLUSIONES

Desde el año 2014, se han identificado ocho eventos de floraciones algales nocivas en lagos y lagunas de El Salvador, causados principalmente por cianobacterias potencialmente tóxicas. En el lago de Coatepeque se han encontrado las abundancias celulares más altas durante un evento de floración, causado por *Lyngbya* sp. y superando las 600 000 cél./mL. En la mayoría de los eventos FAN, las abundancias celulares han superado el nivel de riesgo moderado según los valores límite guía establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para aguas recreacionales. Se vuelve necesario implementar un programa permanente de monitoreo de floraciones algales en cuerpos de agua dulce, sobre todo en el contexto de cambio climático donde se prevé que estos fenómenos incrementen.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Yaneth Alvarado, Isis Chávez y Carlos Palacios por el muestreo y análisis de las muestras de lago de Ilopango y laguna de Metapán.

También agradecemos el apoyo de la Fundación Coatepeque para el muestreo del lago de Coatepeque, la ONG "Mi Proyecto" en la laguna de Cuzcachapa, ANDA en lago de Ilopango y a Ronald Hernández por la elaboración del mapa.

REFERENCIAS

- Bláhová, L., Babica, P., Adamovský, O., Kohoutek, J., Maršálek, B. & Bláha, L. (2008). Analyses of cyanobacterial toxins (microcystins, cylindrospermopsin) in the reservoirs of the Czech Republic and evaluation of health risks. *Environmental Chemistry Letters*, 6, 223-227.
- Bittencourt-Oliveira, M. C., Botânica, D. De, Biociências, I. De, São, U. De, Paulo, R. & Bolch, C. J. S. (2001). Genética variability of Brazilian strains of the *Microcystis aeruginosa* complex (Cyanobacteria/Cyanophyceae) using the phycocyanin intergenic spacer and flanking regions (cpcBA). *Journal of Phycology*, 37, 810-818.
- Bonilla, S., Kruk, C., León, L. de, Vidal, L. & Brena, B. (2009). Medidas de gestión y sistemas de vigilancia. En S. Bonilla (Ed.), *Cianobacterias planctónicas del Uruguay. Manual para la identificación y medidas de gestión* (pp. 27-33). Montevideo: UNESCO.
- Brena, B. & Bonilla, S. (2009). Producción de toxinas y otros metabolitos. En S. Bonilla (Ed.), *Cianobacterias Planctónicas del Uruguay. Manual para la identificación y medidas de gestión* (pp. 16-18). Montevideo: UNESCO.
- Carrasco, D., Moreno, E., Sanchis, D., Wörmer, L., Paniagua, T., Cueto, A. del & Quesada, A. (2006). Cyanobacterial abundance and microcystin occurrence in Mediterranean water reservoirs in Central Spain: Microcystins in the Madrid area. *European Journal of Phycology*, 41 (3), 281-291. <https://doi.org/10.1080/09670260600801724>
- Chorus, I., Falconer, I. R., Salas, H. J. & Bartram, J. (2000). Health risks caused by freshwater cyanobacteria in recreational waters. *Journal of Toxicology and Environmental Health B. Critical Reviews*, 3 (4), 323-347.
- Chorus, I. & Bartram, J. (1999). *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*. (I. Chorus & J. Bartram, Eds.). Londres: Organización Mundial de la Salud.
- Davis, T. W., Berry, D. L., Boyer, G. L. & Gobler, C. J. (2009). The effects of temperature and nutrients on the growth and dynamics of toxic and nontoxic strains of *Microcystis* during cyanobacteria blooms. *Harmful Algae*, 8, 715-725.
- Hudon, C., De Sève, M. & Cattaneo, M. (2014). Increasing occurrence of the benthic filamentous cyanobacterium *Lyngbya wollei*: a symptom of freshwater ecosystem degradation. *Freshwater Science*, 33(2), 606-618.

- Jacoby, J. M., Collier, D. C., Welch, E. B. F., Hardy, J. & Crayton, M. (2000). Environmental factors associated with a toxic bloom of *Microcystis aeruginosa*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57, 231-240.
- Jiménez, I., Sánchez-Mármol, L. & Herrera, N. (2004). *Inventario Nacional y Diagnóstico de los Humedales de El Salvador*. San Salvador.
- Komárek, J. (2016). A polyphasic approach for the taxonomy of cyanobacteria: principles and applications. *European Journal of Phycology*, 51(3), 346-353. <https://doi.org/10.1080/09670262.2016.1163738>
- Moura, A. D. N., Aragão-Tavares, N. K. C. & Amorim, C. A. (2018). Cyanobacterial blooms in freshwater bodies from a semiarid region, northeast Brazil: A review. *Journal of Limnology*, 77(2), 179-188. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2018.1646>
- O'Neil, J. M., Davis, T. W., Burford, M. A. & Gobler, C. J. (2012). The rise of harmful cyanobacteria blooms: The potential roles of eutrophication and climate change. *Harmful Algae*, 14, 313-334. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2011.10.027>
- Osborne, N. J., Shaw, G. R. & Webb, P. M. (2007) Health effects of recreational exposure to Moreton Bay, Australia waters during a *Lyngbya majuscula* bloom. *Environ Internat*, 33, 309-314.
- Otsuka, S., Suda, S., Li, R., Matsumoto, S. & Watanabe, M. M. (2000). Morphological variability of colonies of *Microcystis* morphospecies in culture. *Journal of General and Applied Microbiology*, 50, 39-50.
- Otsuka, S., Suda, S., Oyaizu, H., Matsumoto, S. & Watanabe, M. M. (2001). A proposal for the unification of five species of the cyanobacterial genus *Microcystis* Ku \$ tzing ex Lemmermann 1907 under the Rules of the. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 51, 873-879.
- Paerl, H. W., Fulton, R. S., Moisander, P. H. & Dyble, J. (2001). Harmful Freshwater Algal Blooms, With an Emphasis on Cyanobacteria. *The Scientific World Journal*, 1, 76-113. <https://doi.org/10.1100/tsw.2001.16>
- Paerl, H. W. & Otten, T. G. (2013a). Blooms Bite the Hand That Feeds Them. *Science*, 342 (6157), 433-434. <https://doi.org/10.1126/science.1245276>
- Paerl, H. W. & Otten, T. G. (2013b). Harmful Cyanobacterial Blooms: Causes, Consequences, and Controls. *Microbial Ecology*, 65(4), 995-1010. <https://doi.org/10.1007/s00248-012-0159-y>
- Poste, A. E., Hecky, R. E. & Guildford, S. J. (2011). Evaluating microcystin exposure risk through fish consumption. *Environmental Science and Technology*, 45(13), 5806-5811. <https://doi.org/10.1021/es200285c>
- Robarts, R. S. & Zohary, T. (1987). Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration and growth rates of bloom forming cyanobacteria. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 21, 391-399.
- Vasconcelos, V. (2006). Eutrophication, toxic cyanobacteria and cyanotoxins: When ecosystems cry for help. *Limnetica*, 25(1-2), 425-432.
- Villafañe, V. E. & Reid, F. M. (1995). Métodos de microscopía para la cuantificación del fitoplancton. En K. Alveal, M. Ferrario, E. Oliveira, & E. Sar (Eds.), *Manual de métodos ficológicos* (pp. 169-185). Concepción, Chile: Universidad de Concepción.