

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

Cianobacterias y Cianotoxinas en el Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México

* Ana Cecilia Tomasini-Ortiz¹
Gabriela Moeller-Chávez¹
José Javier Sánchez Chávez¹
Luis Alberto Bravo Inclán¹

Cyanobacteria and Cyanotoxins in Lake Patzcuaro, Michoacan, Mexico

Recibido el 20 de abril de 2012; Aceptado el 4 de julio de 2012

Abstract

One of the most common features in eutrophic water bodies is the presence of cyanobacteria which can produce cyanotoxins. In several states of Mexico, many events of cyanobacteria blooms have been reported, as well as in different urban water bodies in Mexico City. From 2009 to 2011, cyanobacteria blooms have also been observed in Pátzcuaro Lake, and in six stations, data of Mycrocistin-LR toxin, chlorophyll and the quantification of cyanobacteria were obtained. This information helped to determine the lake's health risk, according to the World Health Organization (WHO) Guide. In 2009 and according to the WHO Guide, Embarcadero, Espiritu and Quiroga stations and secondly Pacanda station, presented a very high probability of health risk; and in 2010, Quiroga, Espiritu and Pacanda, also showed a high health risk; lastly, in 2011, all stations showed an increased health risk in the month September, except in Napizaro station. It is highly recommended to have a comprehensive and effective plan to treat domestic sewage discharges and reduce diffuse pollution sources in the affected water bodies. In the case of drinking water supply and for the removal of toxins and source cyanobacteria control, the treatment process needs an appropriate and strategic design. Finally, it is vital to inform the surface water users of the implications and health risks of using water with a clear and / or persistent presence of toxic cyanobacteria.

Key Words: Cyanobacteria, Cyanotoxin, Eutrophication, Blooms, Health Risk.

¹ Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

* *Autor Corresponsal:* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos. 62550. México. Email: atomasini@tlaloc.imta.mx

Resumen

Uno de los fenómenos más frecuentes en los cuerpos de agua eutróficos, es la presencia de cianobacterias capaces de producir cianotoxinas. En México, se han reportado florecimientos de cianobacterias en varios estados de la República Mexicana, así como en diferentes cuerpos de agua en la Ciudad de México. En el lago de Pátzcuaro, se han observado florecimientos de cianobacterias, por lo que, desde el 2009 a 2011, se obtuvieron las concentraciones de Microcistina- LR, clorofila *a* y cuantificación de cianobacterias en seis estaciones en el lago, determinándose el riesgo a la salud, de acuerdo a la guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Siguiendo esta guía, en el 2009, las estaciones de Embarcadero, Espíritu, Quiroga y un poco Pacanda, presentaron una probabilidad de riesgo a la salud muy alta. Para el 2010, Quiroga, Espíritu y Pacanda, fueron las que presentaron un riesgo a la salud muy alta. En el 2011, todas las estaciones presentaron un riesgo a la salud alta a partir de septiembre, excepto la estación de Napizaro. Por lo que se requiere contar con un plan integral y efectivo para tratar las descargas residuales domésticas y disminuir las fuentes de contaminación difusa en los cuerpos de agua. En el tratamiento de agua potable, diseñar estrategias adecuadas de remoción de toxinas y control de cianobacterias. Finalmente, se debe informar al público usuario de los cuerpos de agua, sobre los riesgos que implica el hacer uso del agua con evidente presencia de cianobacterias tóxicas.

Palabras clave: Cianobacterias, Cianotoxinas, Eutroficación, Florecimientos, Riesgo a la salud.

Introducción

Cianobacterias

Las cianobacterias son consideradas una liga entre procariotas y eucariontes fotosintéticos con capacidad de sintetizar clorofila *y*, con ello, aprovechar la luz del sol. Generalmente son unicelulares, como *Chroococcus* sp., coloniales cubiertas por una capa mucilaginosa, como *Microcystis* sp., o formando filamentos, como *Anabaena* sp. (Quesada-Corral *et al.*, 2006). Presentan particularidades que las hace únicas entre las bacterias y entre las algas, tales como: metabolismo aeróbico y carácter fotoautótrofo, esto es, que realizan la fotosíntesis con liberación de oxígeno, presentan clorofila *a* y ficobiliproteínas que les confiere el color característico que ha dado lugar a la denominación de algas verde-azules o cianofíceas. Algunas cianobacterias tienen la capacidad de moverse en un campo de luz por medio de vacuolas de gas que regulan su posición en una columna de agua. Así, las cianobacterias filamentosas pueden migrar a diferentes niveles en respuesta a la intensidad de la luz; lo que les da una clara ventaja sobre otras especies de fitoplancton (Pérez *et al.*, 2008).

Cianotoxinas

Las cianobacterias presentan la capacidad de producir toxinas o cianotoxinas. Las cuales pertenecen a diversos grupos de sustancias químicas, cada una de ellas muestran mecanismos concretos de toxicidad. Algunas son neurotoxinas (anatoxina, saxitoxina), otras son tóxicas para el hígado (microcistina, nodularina y cylindrospermopsina), y aún otras (lipopolisacáridos) parecen causar problemas de gastroenteritis.

Eutroficación y florecimientos

En la actualidad muchos cuerpos de agua están eutróficos o hipereutróficos, con la presencia de cambios evidentes relacionados con el aspecto y la calidad del agua. Tales alteraciones están asociadas principalmente con la alta concentración de nutrientes, como el fósforo y el nitrógeno. Cuando estos cuerpos de agua se tornan eutróficos, la diversidad del fitoplancton disminuye, lo que conduce a que las cianobacterias prevalezcan (Ramírez-García *et al.*, 2004). En épocas de primavera o verano y bajo determinadas condiciones ambientales de temperatura, de poco viento y la presencia de nutrientes, particularmente fósforo y nitrógeno, las cianobacterias pueden desarrollarse en grandes masas denominadas florecimientos (*blooms*) (Campos *et al.*, 2005).

Efectos en los ecosistemas acuáticos

La presencia de florecimientos afectan a nivel ecológico un cuerpo de agua, lo más importante es la disminución de la biodiversidad, y la falta de oxígeno disuelto. La presencia de toxina a nivel de ecosistema también tiene gran importancia, porque puede suponer una variación en las especies de zooplancton, ya que muchas son sensibles a dichas toxinas, permaneciendo aquellas que no lo son, pero que pueden tener diferente valor nutricional para los peces que se alimentan de ellos, o incluso pueden no servir de alimento para dichos peces, por lo que la estructura trófica del ecosistema quedaría desequilibrada. Se ha comprobado que además hay acumulación de las toxinas en los tejidos de algunos animales que las ingieren, tanto invertebrados como vertebrados. Recientemente se han atribuido mortandades de animales de interés humano como puede ser el ganado y las mascotas, por el efecto directo de las cianotoxinas. Además de estos problemas, la presencia masiva de cianobacterias conlleva otra serie de problemas, como son la modificación de la calidad del agua y los problemas estéticos (olor, color y sabor) que demerita las actividades recreativas y/o turísticas (Quesada-Corral *et al.*, 2006).

Cianobacterias y cianotoxinas en México

En México, se han reportado muchos eventos de florecimientos de cianobacterias en varios estados de la República Mexicana, como: Jalisco, Michoacán, Veracruz, San Luis Potosí, Querétaro, Guanajuato, Puebla, Oaxaca, Hidalgo y en el Estado de México; así como en diferentes cuerpos de agua en la Ciudad de México, como el lago de Chapultepec, los canales de Xochimilco y Cuemanco. Donde la concentración total de Microcistina-LR (MC-LR) varió de los 4.9 a 78 µg/L (Arzate-Cárdenas *et al.*, 2010, Vasconcelos *et al.*, 2010, Oliva-MARTÍNEZ *et al.*, 2008). La presencia de MC-LR en fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, se ha reportado en Valle de Bravo, Estado de México. En 1999, en el mes de junio con valores de 2,551 mg/kg, peso en base seca. En el 2001, en julio fue de 3,761 µg/g. (Ramírez-García *et al.*, 2004).

En el lago de Pátzcuaro, la detección de MC-LR tanto en charales (zooplanctívoros), en el pez completo se detectó 18.5 ± 1.92 ng/g. En hígado y músculo de carpas (omnívoros) se encontró

93.6 ± 45.1 y 4.99 ± 2.14 ng/g respectivamente. En vísceras y músculo de especies de *Goodea* sp. (Fitoplanctivoros) 867 ± 315 y 157 ± 61.5ng/g, es particularmente relevante, ya que estas especies son consumidos en su totalidad, incluyendo vísceras (por ejemplo, hígados) conocidas por acumular MC-LR (Barry *et al.*, 2011).

Durante del proyecto de "Monitoreo de la calidad de agua del lago de Pátzcuaro y de las descargas" (Sánchez-Chávez *et al.*, 2011), se ha observado una gran presencia de florecimientos cianobacterias, por lo que, desde septiembre del 2009 a noviembre del 2011, se planteó el objetivo de obtener las concentraciones de MC-LR soluble, clorofila *a* y cuantificación de cianobacterias en seis estaciones en el lago de Pátzcuaro y determinar el riesgo a la salud, de acuerdo con los lineamientos de la guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Metodología

En la tabla 1, se muestra la ubicación de las seis estaciones seleccionadas para su monitoreo dentro del lago. Dichas estaciones se presentan en la figura 1.

Tabla 1. Localización de las estaciones dentro de lago

Clave de la estación	Nombre de la estación	Coordenadas	
		Latitud norte	Latitud oeste
E-1	Quiroga	19° 39' 13"	101° 34' 13"
E-2	Espíritu	19° 38' 13"	101° 37' 47"
E-3	Napízaro	19° 35' 23"	101° 40' 07"
E-4	Janitzio Sur	19° 33' 29"	101° 38' 53"
E-5	Pacanda	19° 33' 29"	101° 38' 54"
E-6	Embarcadero	19° 32' 55"	101° 37' 13"



Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo en el lago de Pátzcuaro

En cada una de las estaciones se tomaron muestras para el análisis de clorofila *a*, por el método de manguera, hasta la doble profundidad de lo que marcó el disco de Secchi. La clorofila *a* se analizó de acuerdo con el Métodos Estándar (APHA, 2005) y con la técnica de acetona al 90% y lectura por medio de espectrofotómetro.

En cada punto se hizo un arrastre de uno a tres minutos, con una red de plancton, dependiendo de la concentración del mismo y se fijó con formol al 4%, para la identificación y conteo del

plancton. A partir de septiembre del 2009, se empezó con arrastres simultáneos al anterior, con un frasco de 1 L para el análisis de MC-LR, las muestras se trasladaron a 4 °C y lejos de la luz.

En el laboratorio se realizó la observación al microscopio de luz, a un aumento de 40x. Se colocó 1 mL de muestra en una celda Sedgwick-Rafter y se procedió a la identificación y conteo, realizándose tres lecturas por cada control. Se obtuvo el promedio dividiendo el número de organismos contados entre el número total de lecturas y se aplicó la fórmula de Lackey reportando los resultados como células/mL de acuerdo con el Métodos Estándar (APHA, 2005).

La determinación de MC-LR, fue por medio de la prueba de ELISA con un kit de Abraxis®, ADDA ELISA, con un control y seis estándares de 0.0, 0.15, 0.4, 1.0, 2.0 y 5.0 µg. A partir de las muestras de febrero a noviembre del 2011, se realizaron diluciones.

Resultados

Se observó dentro del plancton florecimientos de cianobacterias, siendo las más representativas: *Aphanizomenon gracile*, rebasando los millones de células por mililitro (células/mL), seguida de *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis pulvera* y *Anabaena affinis* rebasando los miles de células/mL. Las medianas anuales de las cianobacterias obtenidas desde el 2006 al 2011, fueron 274,390; 290,268; 443,366; 7, 374,310; 4, 094,187 y 15, 531,636 células/mL respectivamente. Teniendo un repunte muy importante el conteo de células a partir del 2009, alcanzando los millones de células/mL, las cuales decrecen un poco en el 2010, pero en el 2011 se incrementaron fuertemente, obteniendo que para el 2009, 2010 y 2011, el 75% de las muestras estuvieron por arriba de la mediana (Figura 2).

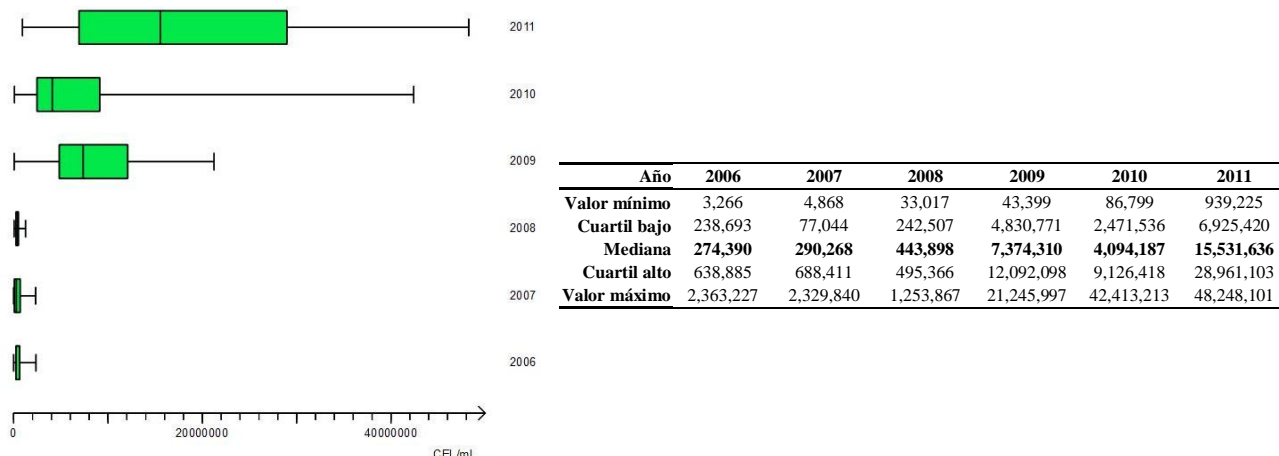


Figura 2. BOXPLOT anual de las cianobacterias en el Lago de Pátzcuaro

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha determinado valores guía para cianobacterias y concentraciones de MC-LR y clorofila *a* en aguas destinadas a la producción de agua para consumo humano y en aguas de recreación (Tabla 2). Al mismo tiempo la OMS ha decretado un límite máximo de detección (LMD) de MC-LR para agua potable de 1 µg/L.

Tabla 2. Valores guía de la OMS para la probabilidad relativa de efectos agudos para la salud, durante la exposición a cianobacterias y MC-LR en aguas destinadas para el consumo humano y en aguas de recreación

Probabilidad relativa de efectos agudos a la salud	Cianobacterias (Células/MI)	MC-LR (µg/L)	Clorofila α (µg/L)
Baja	< 20,000	<10	< 10
Moderada	20,000 – 100,000	10 – 20	10 – 50
Alta	100,000 – 10,000,000	20 – 2,000	50 – 5,000
Muy alta	> 10,000,000	> 2,000	> 5,000

Fuente: Chorus y Bartram, 1999

De acuerdo a las guías de la OMS, dependiendo del conteo de células/mL de las cianobacterias en cada una de las estaciones del lago de Pátzcuaro, por debajo de la línea punteada, quiere decir que es una probabilidad relativa de efectos agudos a la salud alta (100,000 a 10, 000,000 células/mL de cianobacterias) y por arriba de la línea punteada es una probabilidad relativa de efectos agudos a la salud muy alta (>10,000,000 células/mL). De acuerdo a esto, el reporte por meses de muestreo, por año, por estación, a partir del 2009 las estaciones de Quiroga E-1, Espíritu E-2, Embarcadero E-6 y un poco Pacanda E-5, presentaron una probabilidad de riesgo a la salud muy alta. Para el 2010, Quiroga E-1, Espíritu E-2 y Pacanda E-5, fueron las que presentaron un riesgo a la salud muy alto. Para el 2011, todas las estaciones presentaron un incremento a partir de septiembre, siendo el riesgo a la salud muy alta, excepto en la estación de Napizaro E-3 (Figura 3).

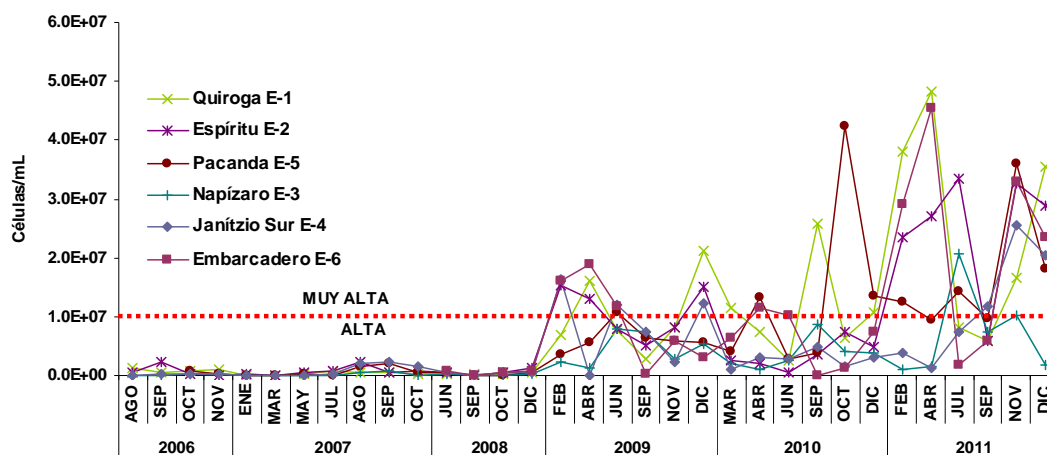






Figura 3. Concentración de cianobacterias para cada una de las estaciones del Lago de Pátzcuaro

A continuación, en la Tabla 3, se puede observar que durante el mes de septiembre en los años del 2009, 2010 y 2011, las concentraciones de MC-LR fueron los más altos, esto puede deberse a la temporada de lluvias en la región, aportando una mayor cantidad de nutrientes al sistema que incrementa el crecimiento de las cianobacterias. Del 2009 al 2010, las concentraciones más bajas se presentaron en el mes de diciembre. Para el 2011, a partir de las muestras de febrero, se hicieron los análisis con diluciones para así obtener mejores resultados, donde se observa que en el mes de julio decreció considerablemente la concentración de MC-LR en todas las estaciones, repuntando en el mes de septiembre, igual que en otros años.

Por estación vemos, que para Quiroga E-1, desde el 2009, ha estado con un riesgo a la salud alta, alcanzando en abril y septiembre del 2011, un riesgo a la salud muy alta. La estación de Espíritu E-2, presentó un riesgo a la salud entre moderada y alta los años de 2009 y 2010, siendo para el 2011, un riesgo a la salud de alta a muy alta. Las estaciones de Pacanda E-5 y Napízaro E-3, durante los tres años de muestreo presentaron un riesgo a la salud de moderada a alta. La estación de Janitzio Sur E-4 presentó, en general, un riesgo a la salud de baja a alta. Por último la estación Embarcadero E-6, durante los años de 2009 y 2010, presentó un riesgo a la salud de moderada a alta, siendo durante el 2011, el riesgo a la salud fue de alta a muy alta.

Tabla 3. Concentración mensual de MC-LR $\mu\text{g/L}$ en cada una de las estaciones

Muestras	E-1	E-2	E-5	E-3	E-4	E-6
Sep-09	100	100	100	100	100	100
Nov-09	100	100	100	40	4	34
Dic-09	100	19	10	7	4	9
Mar-10	100	18	9	11	8	9
Abr-10	100	100	30	7	7	43
Jun-10	40	15	16	41	7	5
Sep-10	100	100	100	69	100	28
Oct-10	100	16	100	2	3	35
Dic-10	7	6	11	5	3	4
Feb-11	1,851	1,839	7	3	5	2,792
Abr-11	2,453	283	377	94	0	4,038
Jul-11	539	82	16	0	0	5
Sep-11	3,320	3,500	980	3,080	230	1,580
Nov-11	869	6,520	652	690	330	320

	Baja	< 10 $\mu\text{g/L}$
	Moderada	10 – 20 $\mu\text{g/L}$
	Alta	20 – 2,000 $\mu\text{g/L}$
	Muy alta	>2,000 $\mu\text{g/L}$

En la figura 4, se muestra cual sería el estado de alerta, de acuerdo a las guías de la OMS, dependiendo de la concentración de clorofila *a* para cada una de las estaciones del lago. Por debajo de la línea punteada, quiere decir que es una probabilidad relativa de efectos agudos a la salud moderada (10 - 50 µg/L de clorofila *a*), por arriba de la línea punteada es una probabilidad relativa de efectos agudos a la salud alta (50 – 5,000 µg/L de clorofila *a*). Presentándose una probabilidad relativa de efectos a la salud alta en las estaciones de Quiroga E-1 (2006-2011), Espíritu E-2 (2006-2007, 2011), Pacanda E-5 (2006-2007), Janitzio Sur E-4 (2007 y 2010) y Embarcadero E-6 (2010-2011), y una probabilidad relativa de efectos a la salud moderada en las estaciones de Napízaro E-3 (2006-2011), Janitzio Sur E-4 (2006-2011) y Pacanda E-5 (2008 - 2011).

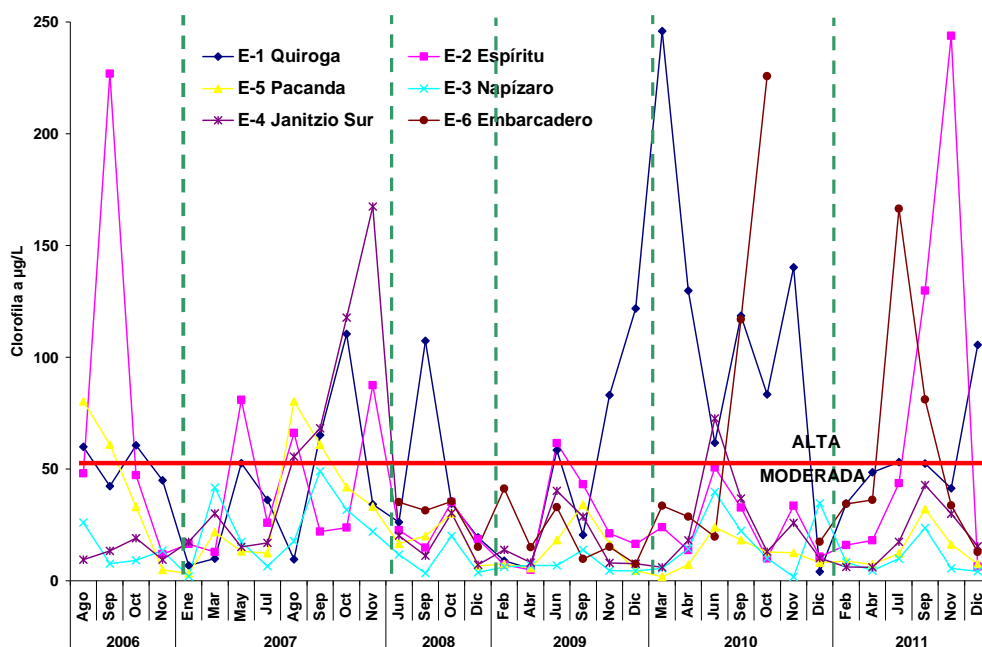


Figura 4. Presencia de clorofila *a*, en las estaciones del lago de Pátzcuaro

Conclusiones

Por el número de células/mL de cianobacterias y concentración de MC-LR, el agua del lago siempre estuvo con una probabilidad relativa de efectos agudos a la salud alta desde el 2006 al 2008, pasando a muy alta de diciembre del 2008 a diciembre del 2011. Siendo las estaciones de, Quiroga, Pacanda, Espíritu y Embarcadero las zonas más afectadas. Por la concentración de clorofila *a*, la probabilidad relativa de efectos agudos a la salud fue de moderada a alta.

De acuerdo con la OMS, el límite máximo de detección de MC-LR en que el agua es apta para consumo humano es de 1 µg/L, y el valor más bajo detectado de esta toxina en el agua del lago, fue de 2 µg/L, por lo que esta agua no sería apta para beber, ni para recreación.

Se requiere contar con un plan integral y efectivo para tratar las descargas residuales domésticas y disminuir las fuentes de contaminación difusa en los cuerpos de agua. En el caso del tratamiento de agua potable, se deben diseñar estrategias adecuadas de remoción de toxinas y control de cianobacterias. Finalmente, se debe informar al público usuario de los cuerpos de agua, sobre los riesgos que implica el hacer uso del agua con evidente presencia de cianobacterias tóxicas.

Agradecimientos. *El presente estudio fue realizado como parte del proyecto titulado “Monitoreo de la calidad del agua de las descargas” (Sánchez-Chávez et al., 2011) realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (proyecto No. TC-0847), y amablemente financiado por la Fundación Gonzalo Río Arronte.*

Referencias bibliográficas

- APHA (American Pollution Health Association). 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Ed. Washington, DC, USA.
- Arzate-Cárdenas, M. A., Olvera-Ramírez, R., y Martínez-Jerónimo, F. (2010) Microcystis toxigenic strains in urban lakes: a case of study in Mexico City. *Ecotoxicology* DOI 10.1007/s10646-01-0499-7.
- Berry, J. P., Lee, E., Walto, K., Wilson, A. E., y Bernal-Brooks, F. (2011) Bioaccumulation of Microcystins by fish associated with a persistent Cyanobacterial Bloom in Lago de Patzcuaro (Michoacan, Mexico). *Environmental Toxicology and Chemistry*, **30**(7): 1621–1628.
- Chorus, I., y Bartram, J. (1999) Toxic Cyanobacteria in Water. WHO. E&FN Spon. London and New York, 1999. 416 p.
- Oliva-Martínez, M. G., Rodríguez-Rocha, A., Lugo-Vázquez, A., y Sánchez-Rodríguez, M. R. (2008) Composición y dinámica del fitoplancton en un lago urbano hipertrófico. *Hidrobiológica* **18**(1): 752-761.
- Pérez, D. S., Soraci, A. L., y Tapia, M. O. (2008) Cianobacterias y cianotoxinas: Rol de las microcistinas en la salud humana y animal y su detección en muestras de agua. *Analecta Veterinaria* **28**(1): 48-56.
- Quesada-Corral, A., Carrasco, D., y Cirés, S. (2006) Cianobacterias en aguas de consumo humano y de recreo. Un problema de todos. Ponencia en Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).
- Ramírez-García, P., Martínez-Romero, E., Martínez-Salgado, M. D., y Eslava-Campos, C. A. (2004) Cianobacterias, microorganismos del fitoplancton y su relación con la salud humana. Instituto Nacional de Ecología, México, p: 1-18.
- Sánchez-Chávez, J. J., Bravo-Inclán, L. A., Tomasini-Ortiz, A. C., González-Villela, R., Córdova-Rodríguez, M. A. y Villalobos-Hernández, R. S. (2011) Monitoreo de la calidad del agua del lago y de las descargas. Subcoordinación Hidrobiología y Evaluación Ambiental. Coordinación Tratamiento y Calidad del Agua (Proyecto final Núm. TC-0847). Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro. Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Vasconcelos, V., Martins, A., Vale, M., Antunes, A., Azevedo, J., Welker, M., López, O., y Montejano, G. (2010) First report on the occurrence of microcystins in planktonic cyanobacteria from Central Mexico. *Toxicon* **56**(3):425-431.