



## Florecimiento de *Microcystis* en el lago Xolotlán: ¿Un riesgo a la salud?

Ninoska Chow Wong<sup>1</sup>, Argentina Zelaya Noguera<sup>1</sup>, Carmen Chacón Mayorga<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua)  
Apartado Postal 4598, Managua Nicaragua.

[ninoska.chow@cira.unan.edu.ni](mailto:ninoska.chow@cira.unan.edu.ni)

### Resumen

Estudios indican que desde 1987 las cianobacterias constituyen el grupo dominante en el lago Xolotlán, sin el registro previo de florecimientos, hasta el ocurrido cercano a la Isla Momotombito el 09 de mayo del 2013. Con la finalidad de evaluar el riesgo a la salud de la población asentada a orillas del lago, ligado a este evento en particular, se conduce este estudio apoyado en la preocupación de que estos fenómenos desencadenan problemas de salud a los humanos y animales domésticos, debido a las endotoxinas que poseen. Muchas hipótesis han sido propuestas en regiones tropicales para explicar su florecimiento y su ocurrencia, siendo relacionada a condiciones ambientales y químicas del agua. El riesgo a la salud debido al florecimiento de las cianobacterias fue evaluada en términos de abundancia (6 791 404 cel ml<sup>-1</sup>), biovolumen (443,81 mm<sup>3</sup> l<sup>-1</sup>), clorofila-a (21 312,0 µg l<sup>-1</sup>), así como la cuantificación de su toxina asociada

(microcistina: 0,51 ng l<sup>-1</sup>). El sitio se caracterizó por la dominancia de *Microcystis aeruginosa* (99%), alto valor de pH (9,11 unid), alta temperatura del agua (29.1 °C), escaso clima lumínico subacuático, relativa calma y baja concentración de nutrientes (NO<sub>3</sub>: 0.011 mg l<sup>-1</sup>; NO<sub>2</sub>: 0.002 mg l<sup>-1</sup>; NH<sub>4</sub>: 0.109 mg l<sup>-1</sup> y ortofosfato: 0.614 mg l<sup>-1</sup>) que podría obedecer a la bioasimilación y transformación de los mismos dada la alta biomasa observada (nata superficial). Atendiendo los Niveles de la OMS para valorar los riesgos a la salud humana producidos por cianobacterias en agua destinada para baño, las aguas de este punto se ubican en el “Nivel de Alta Probabilidad” con efectos adversos a corto plazo (irritaciones cutáneas, enfermedades gastrointestinales) y largo plazo (cáncer hepático por ingestión).

### Palabras claves

Lago Xolotlán, *Microcystis aeruginosa*, nutrientes, salud, endotoxinas.

### Introducción

La ocurrencia de florecimientos de cianobacterias en los ecosistemas acuáticos, es una manifestación del deterioro de la calidad de las aguas, donde especies oportunistas de rápido crecimiento y potencialmente tóxicas para el ser humano, tiene un interés particular de estudio ya que desencadenan problemas sobre la

comunidad acuática y graves repercusiones en la salud pública, debido a las potentes endotoxinas que poseen (neurotoxinas y hepatotoxinas).

Estudios sobre los primeros casos de intoxicación en poblaciones humanas por el consumo de agua contaminada ligadas a

cepas tóxicas de cianobacterias, fueron descritas en Australia, Inglaterra, China y África del Sur (Falconer, 1994). El caso más grave reportado hasta el momento, es el ocurrido en 1996 en Caruaru, Brasil (Teixeira, 1993), donde murieron más de 50 enfermos sometidos a hemodiálisis en los que se utilizó agua contaminada con toxinas de cianobacterias (Azevedo, 1996).

A pesar de que las cianobacterias constituyen el grupo dominante en la mayoría de los cuerpos de agua interiores del país (Tiscapa, Masaya, Cocibolca y Xolotlán), no se ha reportado hasta la fecha, caso alguno de intoxicación relacionado con las mismas. Sin embargo, constituye una amenaza latente a la salud de la población, dado que en cualquier momento pueden desarrollar un aumento repentino en sus poblaciones.

Este estudio constituye el primer esfuerzo del CIRA/UNAN conducente al entendimiento de la ocurrencia de las floraciones de cianobacterias en nuestros ecosistemas acuáticos y tiene como objetivo valorar el riesgo a la salud humana ligado al evento de florecimiento de *Microcystis* acontecido el 09 mayo del 2013 en el lago Xolotlán.

## **Materiales y Métodos**

La evaluación de riesgo a la salud se realizó mediante la valoración de las variables físico-químicas y biológicas, cuyos métodos se mencionan en Anexo (Tabla 1A).

### **• Fitoplancton**

Las muestras de fitoplancton para la valoración cualitativa (identificación taxonómica) y cuantitativa (abundancia

numérica: cel ml<sup>-1</sup>, biovolumen: mm<sup>3</sup>.l<sup>-1</sup>, clorofila-a: µg.l<sup>-1</sup>) fueron recolectadas en horas de la mañana (10 h 30) y de manera directa sobre el espejo de agua. Estas fueron conservadas en un termo con hielo (aprox. 4 °C) hasta su arribo al laboratorio.

### **• Concentración de nutrientes y cianotoxinas**

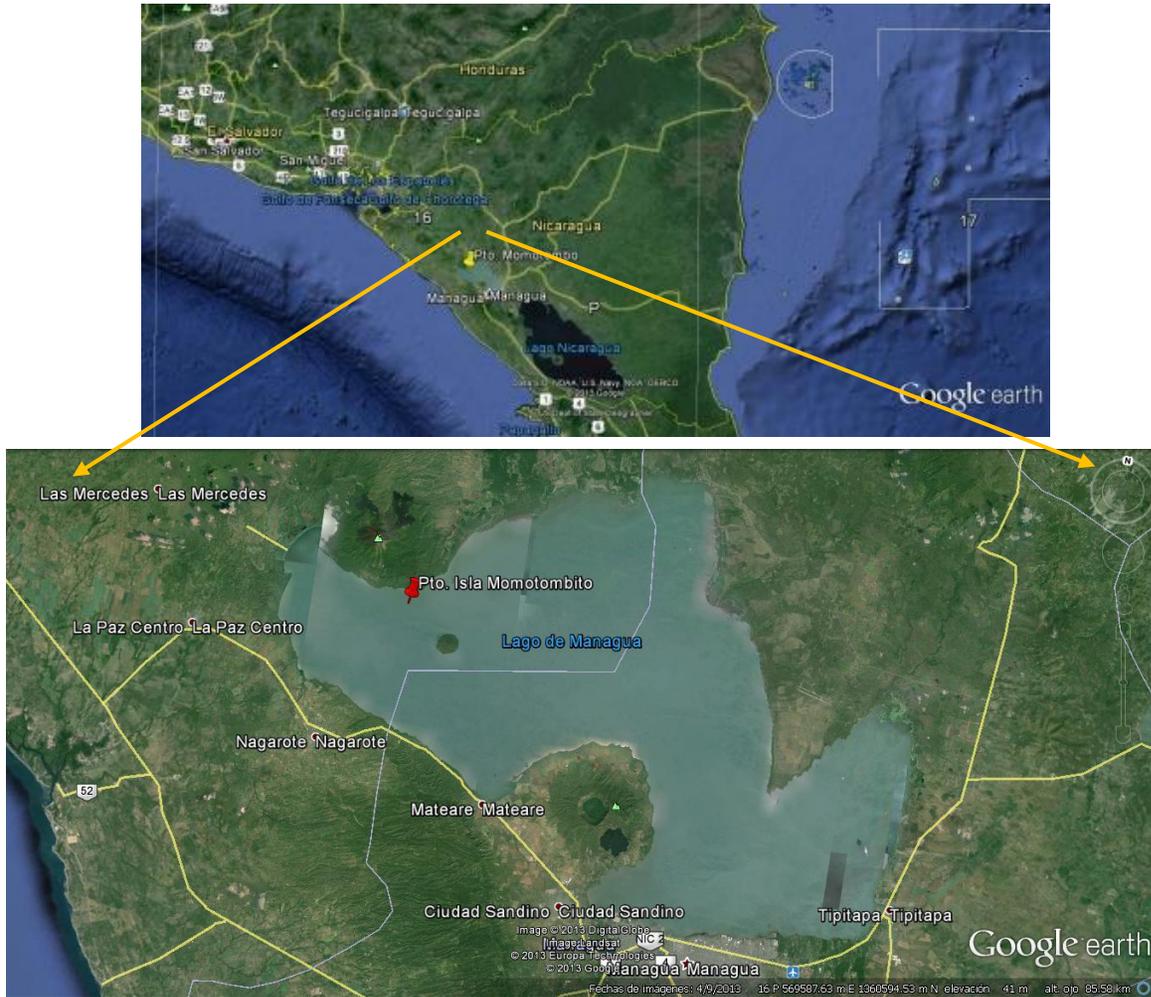
Paralelamente se tomaron muestras de agua para la estimación de la concentración de nutrientes (nitrato, nitrito, amonio y ortofosfato) y cianotoxinas (microcistina).

In situ se midió el *pH*, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y transparencia del agua con el disco Secchi.

Todas las muestras fueron analizadas siguiendo los Procedimientos Operativos Normalizados de los tres laboratorios involucrados del CIRA/UNAN (Hidrobiología, Microbiología y Aguas Naturales).

## **Área de Estudio**

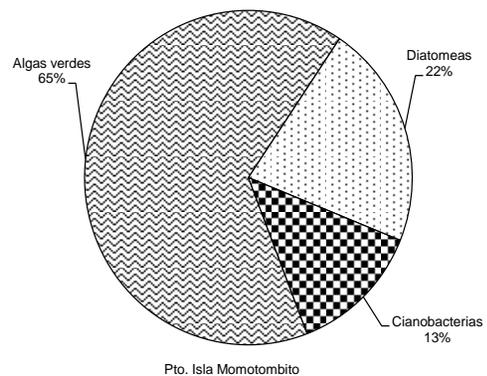
El lago Xolotlán pertenece a la cuenca N° 69 de los dos grandes lagos, tiene un área de 1016 km<sup>2</sup>, con una profundidad media de 7.8 m es un lago somero, endorreico y polimíctico. Desde 1927 hasta 2009 ha sido cuerpo receptor de las aguas residuales domésticas e industriales de los habitantes de la ciudad de Managua. El evento de florecimiento de *Microcystis* se reportó el 09 de mayo 2013 en un punto próximo a la isla Momotombito (Fig. 1), a la cual le corresponden las siguientes coordenadas (1368486 N; 553264 E).



**Fig. 1.** Localización del punto de muestreo

## Resultados

En términos cualitativos, la comunidad del fitoplancton ligado al evento de florecimiento estuvo representado por 23 taxa, pertenecientes a tres grupos algales (algas verdes: 15 taxa, diatomeas: 5 taxa y cianobacterias: 3 taxa). Este escenario es coincidente a la mayoría de ecosistemas acuáticos tropicales sometidos a una fuerte presión antropogénica, como es el lago Xolotlán (Hooker et al., 1991; ENACAL & CIRA, 2008) donde los dos primeros grupos sobresalen (87%) en lo referido a la riqueza de especies (Fig. 2). Sin embargo, en términos cuantitativos, las cianobacterias

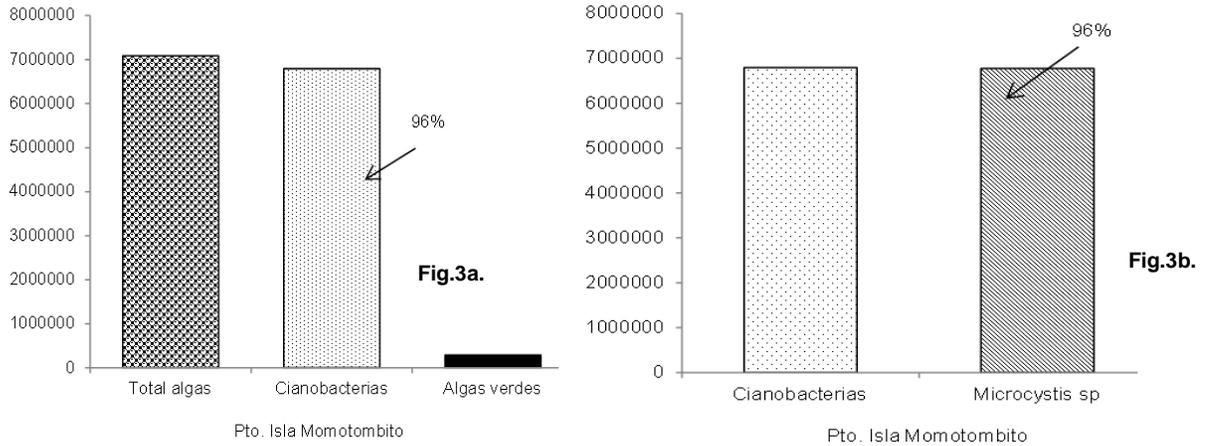


**Fig. 2.** Aporte relativo de los grupos del fitoplancton a la riqueza de especies

dominan de manera absoluta la comunidad fotosintética (96%) y dentro del mismo se destaca el género *Microcystis* (Fig. 3a y 3b).

En la Tabla 1 se presentan los valores de concentración de los nutrientes esenciales para el crecimiento algal registrados en el

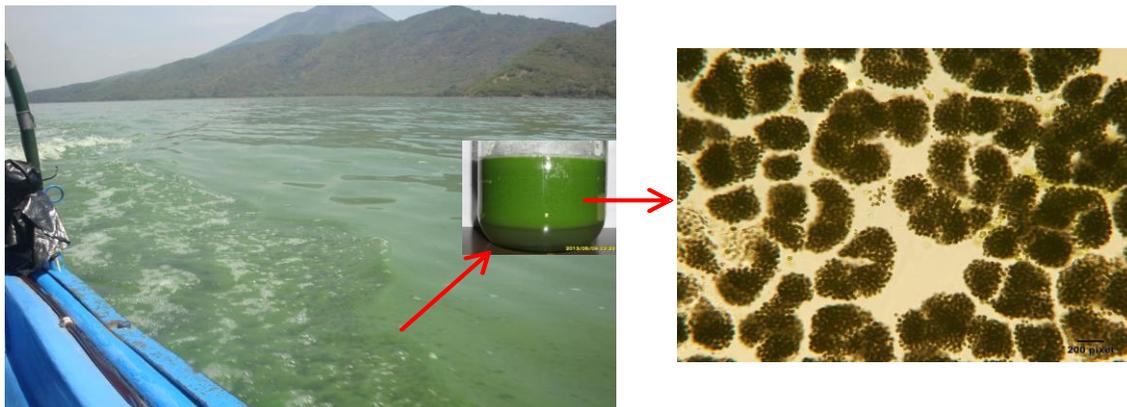
período 1991 – 2013 en el lago Xolotlán. El aumento progresivo de los mismos, así como los altos valores de temperatura (29,01 °C) y pH (9,11) reportados, coinciden con el evento de florecimiento de *Microcystis* observado (Fig. 4).



**Fig. 3.** Contribución de los grupos del fitoplancton a la abundancia total (Fig.3a) y el aporte de *Microcystis* a la abundancia de las cianobacterias (Fig.3b)

**Tabla 1.** Concentración mínima y máxima de nutrientes en el lago Xolotlán

	Lago Xolotlán							
	Lacayo (1991)	ENACAL & CIRA, 2008			CIRA, 2010			
		Mayo 2007	Agosto 2007	Nov. 2007	Nov. 2008	Mayo 2009	Nov. 2009	
N-NO <sub>3</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	0,250 - 2,910	0,025 - 0,139	0,025 - 0,087	0,072 - 0,280	0,140 - 0,257	0,025 - 0,187	0,079 - 0,233	0,011
N-NO <sub>2</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	0,025 - 0,130	0,001 - 0,007	0,001 - 0,005	0,001 - 0,030	0,002 - 0,024	0,001 - 0,021	0,003 - 0,010	0,002
N-NH <sub>4</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	0,005 - 0,413	0,030 - 0,406	0,016 - 0,078	0,016 - 0,273	0,002 - 0,358	0,002 - 0,569	0,018 - 0,0 61	0,109
NT (mg l <sup>-1</sup> )	----	1,269 - 2,656	0,413 - 2,084	0,650 - 1,962	0,665 - 2,185	0,552 - 2,139	0,923 - 2,564	3,82
Orto-P (mg l <sup>-1</sup> )	----	0,377 - 1,090	0,626 - 0,825	0,632 - 0,928	0,876 - 1,046	0,746 - 1,006	0,932 - 1,244	0,614
PT (mg l <sup>-1</sup> )	0,022 - 0,201	0,555 - 1,223	0,896 - 1,300	0,749 - 1,060	1,028 - 1,163	1,020 - 1,220	0,821 - 1,187	1,742



**Fig. 4.** Florecimiento algal acontecido en el lago Xolotlán (Punto Isla Momotombito, 2013-05-09)

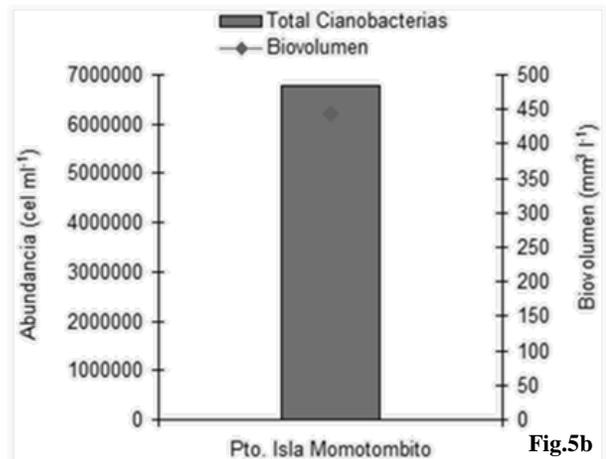
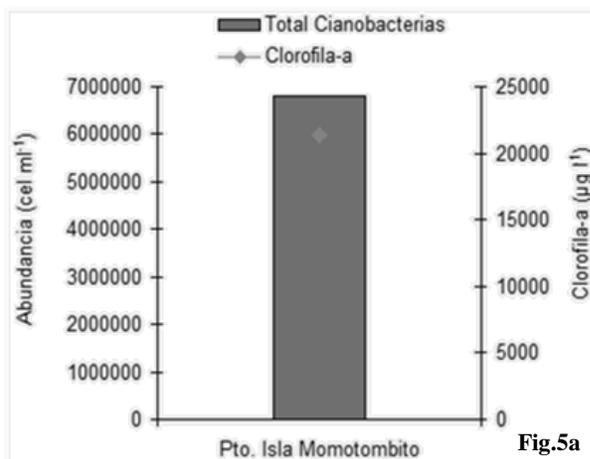
En la Tabla 2 se presentan los valores Guías de la OMS y los Niveles de Riesgo a la Salud (Chorus & Bartram, 1999) en la cual se basa la valoración de riesgo del evento de florecimiento de cianobacterias ocurrido el 09 mayo 2013 en el lago Xolotlán.

A los resultados obtenidos (Fig.5a y Fig.5b) le corresponde un Nivel de Alta Probabilidad con efectos adversos a corto

plazo (irritaciones cutáneas, enfermedades gastrointestinales) y largo plazo (cáncer hepático por ingestión), donde es clara la superación del Nivel II de Riesgo a la Salud (Probabilidad Moderada) ubicando las aguas del lago Xolotlán en un nivel superior de riesgo (Nivel III : Probabilidad Alta, con formación de natas superficiales).

**Tabla 2.** Valores Guías, según OMS y Niveles de Riesgo a la Salud

	Valores Guía OMS					
	Nivel de Riesgo a la Salud					
	Baño			Aguas dedicadas a la producción de agua potable		
	I (Probabilidad Baja)	II (Probabilidad Moderada)	III (Probabilidad Alta)	Vigilancia	Alerta I	Alerta II
Abundancia Cianobacterias (cel ml <sup>-1</sup> )	10 000	20 000 - 100 000	Formación de natas superficiales	Formación de natas superficiales		
Clorofila-a (µg l <sup>-1</sup> )	10	50 con dominancia de cianobacterias				
Biovolumen Cianobacterias (mm <sup>3</sup> l <sup>-1</sup> )	1 - 2	2 - 10		0,02	2,0	10,0
Microcistina (µg l <sup>-1</sup> )	2 - 4 hasta 10 según especie	20		1,0 : límite para consumo humano después de pasar por las depuradoras		



**Fig. 5.** Abundancia total de cianobacterias vs. clorofila-a (Fig.5a) y biovolumen (Fig.5b)

## Discusión

Las cianobacterias son un grupo primitivo y conforman una de las primeras formas de vida existentes en la tierra, las cuales han sobrevivido a través del tiempo demostrando un amplio rango de tolerancia a las condiciones ambientales.

Una de las características de este grupo, es que la mayoría de sus miembros no constituyen una fracción apetecible para los organismos herbívoros, lo cual parece obedecer a la forma (filamento y colonias) y presencia de mucílago que dificultan su manipulación e ingesta, conduciendo a una interrupción en la transferencia de energía hacia los niveles tróficos superiores, así como la acumulación de los mismos en el ecosistema acuático.

El crecimiento excesivo de las cianobacterias está ligado a la alta concentración de nutrientes (principalmente compuestos de nitrógeno y fósforo) y ésta condición la comparte el lago Xolotlán ya que por un período aproximado de ocho décadas ha sido receptor de las aguas residuales domésticas (conexión de las alcantarillas de la ciudad de Managua en 1927 hacia el lago) e industriales, lo cual ha permitido la eutrofización de sus aguas.

En el año 2013 se detecta una ligera disminución en la concentración de las fracciones nitrogenadas inorgánicas y de ortofosfato, lo cual se explica en la bioasimilación y transformación de los mismos en la alta biomasa observada. Este escenario puede crear problemas estéticos, así como la generación de olores desagradables, especialmente cuando los organismos se acumulan en las orillas y mueren, acentuándose si prevalecen condiciones anaeróbicas, pudiendo causar la muerte masiva de peces.

Con la dominancia de las cianobacterias en el lago Xolotlán es evidente el deterioro de

la calidad de sus aguas y paralelo a esto, se manifiesta el riesgo potencial a la salud humana (recreación, pesca e ingesta como fuente de agua potable), ya que algunas especies tienen la capacidad de producir potentes endotoxinas (hepatotoxinas, neurotoxinas, dermatoxinas).

La OMS considera que la principal ruta de exposición de las cianotoxinas son los cuerpos de agua destinados al uso recreacional, lo cual se basa en estudios que indican que los nadadores pueden llegar a ingerir más de 100 - 200 ml de forma involuntaria en una sesión mientras se bañan y así causar daño a partir de la misma. Es por eso que ésta organización ha establecido valores guía de riesgo en base a la abundancia y biovolumen, así como la concentración de clorofila-a y microcistina.

Los resultados obtenidos, indican una clara superación del Nivel II de Riesgo a la Salud (Probabilidad Moderada), lo cual ubica las aguas del lago Xolotlán en un nivel superior de riesgo (Nivel III Probabilidad Alta, con formación de natas superficiales).

## Conclusiones

La comunidad algal estuvo conformada por grupos comunes (algas verdes, diatomeas y cianobacterias) a cuerpos de agua tropicales eutróficos.

Las cianobacterias sobresalieron en términos de abundancia numérica, con la dominancia absoluta de *Microcystis aeruginosa* (99,7%), lo cual parece responder a las condiciones de relativa calma, escasa transparencia, estabilidad de columna de agua, alta concentración de nutrientes y al escaso consumo por parte del zooplancton herbívoro.

La concentración de nutrientes detectados en el agua (fósforo total, ortofosfato, nitrato, nitrito, amonio y nitrógeno orgánico total)

son suficientes y no limitan el crecimiento algal.

Las concentraciones de cianotoxinas (microcistina) registradas, no sobrepasan los límites recomendado por la OMS para aguas destinadas para baño y consumo. Sin embargo, constituye un riesgo para la salud.

Atendiendo los Niveles de la OMS para la valoración del riesgo a la salud humana generados por la abundancia de cianobacterias en agua destinada para baño, las aguas del lago Xolotlán para este punto en particular, se ubica en el Nivel de Alta Probabilidad con efectos adversos a corto plazo (irritaciones cutáneas, enfermedades gastrointestinales) y largo plazo (cáncer hepático por ingestión).

### **Recomendaciones**

Establecer un vínculo de comunicación efectiva entre pescadores, pobladores asentados a la orilla del lago y las autoridades de salud ante la observación de eventos (cambio de color, formación de natas y/o espuma, muerte masiva de peces etc.) que sugieran algún riesgo potencial a la salud.

Identificar ecosistemas acuáticos nicaragüenses comprometidos en su calidad físico-química- biológica y en cuyas orillas se asientan comunidades que dependen de manera directa e indirecta (consumo como fuente de agua potable, baño, pesca) de este vital recurso.

Con apoyo de las autoridades de salud, orientar esfuerzos para la creación de una base de información relacionada con las enfermedades de transmisión hídrica (uso y consumo).

### **Agradecimientos**

Agradecemos al Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos de Nicaragua CIRA-UNAN, por proporcionar las facilidades para llevar a cabo este interesante estudio, el

invaluable apoyo por parte de los miembros de colectivos de los laboratorios de Aguas Naturales, Hidrobiología y Microbiología del Centro. Muy agradecidas con el Doctor Gustavo Sequeira por brindarnos su apoyo en la utilización de la infraestructura y equipos para analizar las muestras. A Francisco Rugama y Claudia Taleno por su apoyo y esmero en muestreos y análisis de las muestras para la determinación de las cianotoxinas.

### **Bibliografía**

- Azevedo, S. M. 1996. Toxic cyanobacteria and the Caruaru tragedy. IV Simpósio da Sociedade Brasileira de Toxinologia.
- Azevedo, *et al.*, 2002. Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru/Brazil. *Toxicology* 181/182: 441-446.
- Chorus, I & J. Bartram. 1999. Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences monitoring and management.
- CIRA. 2010. Evaluación del impacto de los lixiviados del basurero de la ciudad de Managua, La Chureca, a las aguas del Lago Xolotlán, al acuífero afectado y a la laguna Acahualinca.
- Cronberg, G & Annadotter, H. 2006. Manual on aquatic cyanobacteria. A photo guide and a synopsis of their toxicology. 103 pp.
- ENACAL & CIRA/UNAN, 2008. Programa de Saneamiento Ambiental del Lago y la Calidad de Managua. Préstamo BID 1060. Contrato de Consultoría para la Evaluación y Monitoreo de la Calidad del Agua del Lago de Managua (LXZ 006 – 2006).
- Falconer, I. R. 1994. Health implications of Cyanobacterial (blue-green algae) toxins. In: Toxic Cyanobacteria current status of research and management. Eds.

- Steffensen DA & Nicholson BC. Proceedings for an International Workshop. Adelaide. Australia.
- Hooker, E., M. Ruiz & M. Pum. 1991. Phytoplankton community composition in Lake Xolotlan (Managua). Hydrobiological Bulletin. Vol 25 (2), 121 – 124.
- Lacayo, M. 1991. Physical and chemical features of Lake Xolotlan. Hydrobiological Bulletin. Vol 25(2), 111-116.
- Nush, E. A & G. Palme, 1975. Biologische Methoden für die Praxis der Gewässeruntersuchung, der Gewässeruntersuchung, Bestimmung des Chlorophyll-a und Phaeopigmentgehaltes in Oberflächenwasser, Wasser/Abwasser, 16: 562-565.
- Roset, J. Aguayo, S & Muñoz, M. J. 2001. Detección de cianobacterias y sus toxinas. Una Revisión. Rev. Toxicol. 18:65-71.
- Teixeira, *et al.*, 1993. Gastroenteritis epidemic in the area of the Itaparica, Bahía, Brazil. Bulletin of PAHO, 27(3): 244-253
- Utermoehl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplanktonmethodik. Mitt. Internat. Verein. Limnol, 9: 1-38

## Anexo 1A

Tabla 1A Parámetros y métodos utilizados en la valoración de riesgo a la salud.

	Parámetros	Métodos
Nutrientes	Nitrato	Cromatografía iónica <sup>1</sup>
	Nitrito	Espectrofotométrico <sup>1</sup>
	Amonio	Azul de Indofenol <sup>2</sup>
	Nitrógeno Total	Segunda derivada con digestión previa de persulfato de potasio
	Ortofosfato	Ácido ascórbico <sup>1</sup>
	Fósforo Total	Ácido ascórbico <sup>1</sup>
Fitoplancton	Identificación taxonómica	Observación directa (microscopía)
	Clorofila-a	Espectrofotometría UV-VIS <sup>3</sup>
	Abundancia numérica	Conteo microscopio invertido <sup>4</sup>
	Biovolumen	Fórmulas geométricas <sup>5</sup>
Toxinas	Microcistina	ELISA

- American Public Health Association. APHA: 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition Washington.
- Rodier, J. 1981. Análisis de las Aguas Naturales, Aguas Residuales y Aguas de Mar. España. Ediciones Omega.
- Nush, E. A & G. Palme, 1975. Biologische Methoden für die Praxis der Gewässeruntersuchung, Bestimmung des Chlorophyll-a und Phaeopigment-gehaltes in Oberflächenwasser, Wasser/Abwasser, 16: 562-565.
- Utermoehl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplanktonmethodik. Mitt. Internat. Verein. Limnol, 9: 1-38.
- Sun, J & D. Liu. 2003. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. Journal of Plankton Research. Vol 25. No. 11, 1131-1346.