

FLORACIONES ALGALES DE AGUA DULCE: CIANOBACTERIAS, CIANOTOXINAS. SU RELACIÓN CON LA SALUD

Lizet De León

Sección Limnología, Instituto de Biología, Facultad De Ciencias.

lizetdl@fcien.edu.uy

INTRODUCCIÓN

A ¿Qué son las floraciones algales de agua dulce?

Las floraciones algales, también conocidas como “blooms”, son eventos de multiplicación y acumulación de las microalgas que viven libres en los sistemas acuáticos, o fitoplancton, (Figura 1) y que presentan un incremento significativo de la biomasa de una o pocas especies, en períodos de horas a días. Estos eventos ocurren naturalmente en los sistemas acuáticos. Sin embargo, se ha registrado un incremento mundial en su frecuencia y duración, asociado a las condiciones de eutrofización de los cuerpos de agua (Hallegraeff, 1992; Paerl, 1996).



Figura 1. Aspecto de una floración de cianobacterias formando espuma, debido a la alta densidad, en la costa de un sistema de agua dulce.

B ¿Qué organismos desarrollan floraciones algales?

Las floraciones pueden ser desarrolladas por diversas especies de fitoplancton (figura 2) pertenecientes a las Clases Bacillariophyceae (diatomeas), Chlorophyceae (algas verdes), Dinophyceae (dinoflagelados), Chrysophyceae y Cryptophyceae dentro de las algas eucariotas, y Cyanophyceae (cianobacterias) como procariota.

Son muchas las especies de cianobacterias que desarrollan floraciones en ambientes de agua dulce, salobre o marina. En la tabla 1 se mencionan los géneros de cianobacterias de aguas continentales (dulce y salobre), que han registrado floraciones tóxicas con mayor frecuencia a nivel mundial. Se destacan *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Planktothrix*, *Cylindrospermopsis* y *Nodularia*,

por su amplia distribución y por los efectos sobre otros organismos debido a la presencia de toxinas, denominadas genéricamente cianotoxinas, y de las que se hablará más adelante en este capítulo.

Tabla 1. Géneros de cianobacterias que desarrollan floraciones tóxicas

<i>Anabaena</i>	<i>Microcystis</i>
<i>Anabaenopsis</i>	<i>Nodularia</i>
<i>Aphanizomenon</i>	<i>Nostoc</i>
<i>Aphanocapsa</i>	<i>Oscillatoria</i>
<i>Coelosphaerium</i>	<i>Phormidium</i>
<i>Cylindrospermopsis</i>	<i>Planktothrix</i>
<i>Gloeotrichia</i>	<i>Pseudanabaena</i>
<i>Gomphosphaeria</i>	<i>Synechocystis</i>
<i>Lyngbya</i>	<i>Synechococcus</i>

Entre estas especies *Microcystis aeruginosa* y *Nodularia baltica/spumigena* son encontradas con frecuencia en sistemas acuáticos del Uruguay (Bonilla, 1997; Bonilla et al, 1995; CARP, 1989; Chalar et al., 1993; Méndez et al., 1997; Quirós & Lucchini, 1982) y en algunos casos desarrollando importantes floraciones (De León & Yunes, 2001; Pérez et al., 1999).

C ¿Por qué ocurren las floraciones de cianobacterias?

Los factores que favorecen el desarrollo de floraciones de cianobacterias pueden resumirse en:

- 1- La eutrofización de los sistemas acuáticos debido al incremento de los niveles de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo (N y P) por:

- a) Los aportes puntuales de aguas residuales domésticas o industriales no tratadas, con alto contenido de N y P, vertidas directa o indirectamente a los sistemas acuáticos.
 - b) Los aportes difusos de aguas provenientes del lavado de suelos de áreas cultivadas y fertilizadas con N y P, de suelos deforestados o de campos con ganadería (ya sea extensiva, tambos, etc.).
- 2- El alto tiempo de permanencia del agua en el sistema acuático, que favorece la dominancia de las cianobacterias en la comunidad fitoplanctónica. El manejo del tiempo de residencia, mediante la regulación de flujos de salida o de entrada, constituye una forma de control o prevención de estos eventos.
 - 3- La aridez de regiones próximas o dentro de la cuenca hidrográfica, o los efectos similares debidos a suelos sin vegetación, que aportan minerales al agua además de provocar mayor turbidez por la presencia de partículas disueltas. Esto interfiere con la actividad fotosintética de otras algas que mueren y sedimentan, dejando un nicho que es colonizado por las cianobacterias.
 - 4- Existen otros factores naturales como el incremento de la temperatura ($> 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) e intensidad luminosa o la baja turbulencia del agua por vientos menores a 3 m s^{-1} , que junto a la eutrofización son los factores más importantes que favorecen el desarrollo de las floraciones. También contribuye el efecto de la predación natural (trama alimenticia) sobre las especies de fitoplancton que compiten con las cianobacterias que desarrollan floraciones.

D ¿Estos eventos presentan riesgos de algún tipo?

Si. En aguas dulces y estuarinas, las floraciones de cianobacterias son indicadoras de un proceso de eutrofización acelerada a la vez que ocasionan perjuicios diversos con relación al uso del recurso. Estos perjuicios están relacionados principalmente con:

- la síntesis de cianotoxinas (ver E), y su eliminación al medio acuático,
- la presencia de organismos patógenos incluidos en el mucílago de las colonias de cianobacterias. Durante las floraciones se incrementan las interacciones entre las algas y los microbios (bacterias, hongos, ciliados y ameboides) existentes en su entorno o ficosfera, algunos de los cuales pueden ser patógenos. Las interacciones pueden ser azarosas e inespecíficas o muy específicas, como la asociación entre *Pseudomonas aeruginosa* y los heterocistos (células especializadas para la fijación de nitrógeno atmosférico) de *Anabaena oscillarioides*. Si bien estas asociaciones son mutuamente beneficiosas entre los organismos planctónicos, pueden tornarse nocivas para organismos de niveles superiores, a los cuales pueden perjudicar por contacto o ingestión.
- alto consumo de oxígeno por respiración algal y por incremento de la actividad bacteriana durante la degradación de la materia orgánica que sedimenta cuando la floración desaparece. Con frecuencia se registra anoxia (ausencia de oxígeno) en los niveles más profundos del sistema acuático, ocasionando la muerte de los peces, especialmente los que viven próximos al sedimento.
- olor y sabor desagradable del agua y los productos acuáticos, debido a los compuestos volátiles sintetizados por las cianobacterias y hongos asociados (Geosmina y 2-methyl-isoborneol o 2-MIB) o a la liberación de gas sulfhídrico (SH_2) por anoxia.
- efectos mecánicos o químicos sobre los organismos acuáticos debidos al incremento de microalgas, ya sea colmatando las agallas de los peces e impidiendo el intercambio gaseoso o intoxicando, directa o indirectamente, a los organismos a través de la cadena trófica.

E ¿Por qué son tóxicas las floraciones de cianobacterias?

Se estima que más del 50 % de las floraciones de cianobacterias de aguas continentales, registradas o no a nivel mundial, son tóxicas (Hallegraeff, 1992). Las cianotoxinas, son sintetizadas como metabolitos secundarios dentro de estos organismos unicelulares y producen efectos diversos según la especie dominante de la floración, su nivel de toxicidad, el tipo de toxina y las características del organismo afectado.

Los niveles de toxicidad varían para la misma especie, en el mismo cuerpo de agua y durante la misma floración (Gorham & Carmichael, 1980; Carmichael, 1981). A pesar del creciente aumento en los estudios sobre este fenómeno, se desconoce con precisión cual es el factor que desencadena la síntesis de toxinas durante una floración. Se atribuye importancia a la temperatura, la luz, la estabilidad de la columna de agua y el pH, sin descartar otros factores ambientales y biológicos (Shapiro, 1990; Utkilen & Gjølme, 1992).

Las cianotoxinas pueden ser péptidos, alcaloides o lipopolisacáridos que afectan al sistema nervioso y digestivo además de provocar efectos sobre mucosas y piel (tabla 2). Cuando las floraciones tóxicas se dan en cuerpos de agua destinados a usos humanos, como fuente de agua potable, recreación, baños, etc., ocasionan importantes perjuicios desde el punto de vista sanitario y estético (Codd *et al.* 1989, Falconer, 1996; Falconer & Humpage, 1996).

Tabla 2. Péptidos y alcaloides que constituyen las cianotoxinas presentes en las floraciones de cianobacterias tóxicas. Se indica el tipo de toxicidad según el órgano o sistema afectado, su nomenclatura y las especies que las sintetizan ("spp" se refiere a varias especies dentro del género).

PEPTIDOS CICLICOS		ALCALOIDES	
Hepatotoxinas		Neurotoxinas	
Microcystina (MCYS)	<i>Anabaena</i> spp <i>Anabaenopsis millerii</i> <i>Microcystis</i> spp <i>Nostoc</i> sp <i>Oscillatoria limosa</i> <i>Planktothrix</i> spp	Anatoxina a (ANTX-a)	<i>Anabaena</i> spp <i>Aphanizomenon</i> spp <i>Cylindrospermum</i> sp <i>Microcystis</i> spp <i>Oscillatoria</i> spp <i>Planktothrix</i> spp
Nodularina	<i>Nodularia</i> spp	Anatoxina a(S) (ANTX-s)	<i>Anabaena</i> spp
		Saxitoxina (SXT)	<i>Anabaena circinalis</i> <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> <i>Lyngbya wolleii</i>
		Dermotoxina	
		Aplisiatoxina	
		Lyngbiatoxina	<i>Lyngbya</i> spp
		Hepatotoxina	
		Cilindrospermopsina (CYN)	<i>Aphanizomenon</i> spp <i>Cylindrospermopsis</i> spp
		Irritantes	
		Lipopolisacaridos (LPS)	Todas las especies

F ¿Cómo se da la intoxicación por cianotoxinas?

Un alto porcentaje de floraciones de cianobacterias produce una o varias toxinas potentes (neurotoxinas, hepatotoxinas o dermatotoxinas) que pueden ingresar al organismo por ingestión directa de agua con floraciones, por contacto a través de baños, por inhalación por *spray* o por consumo de animales expuestos a cianotoxinas (Williams *et al.*, 1997).

Según Chorus & Bartram (1999) a nivel mundial las hepatotoxinas son más frecuentes que las neurotoxinas, ya que existen registros en todos los continentes. Sin embargo, el heterogéneo desarrollo de metodologías para el análisis de las toxinas y el mayor esfuerzo en la standarización de métodos para detectar hepatotoxinas, pueden contribuir a este resultado.

La hepatotoxina que se registra con mayor frecuencia es la microcystina, que debe su nombre a que fue identificada primariamente en especies del género *Microcystis*. Es una toxina inhibidora de la fosfatasa proteica tipo 1 y 2A (Chorus & Bartram, 1999) y 100 veces más potente que el cianuro (Pizzolón, 1996) cuya ingestión en altas concentraciones ocasiona la muerte de animales, desde pequeñas aves a ganado (Carmichael, 1981; Falconer, 1993, 1996; Sivonen *et al.*, 1990) y/o efectos acumulativos crónicos, como la inducción a la formación de tumores hepáticos. Se estima que una dosis de efecto letal para el hombre requiere el consumo de 5 l de agua con una densidad de algas de 2.10^5 cel ml⁻¹ (Pizzolón, 1996). Si bien esta densidad es fácilmente alcanzable en una floración, el aspecto del agua provoca un natural rechazo que constituye una defensa para el potencial consumidor. Sin embargo, los animales no hacen ninguna distinción, por lo que constituyen las víctimas mortales más numerosas por intoxicación con cianotoxinas (Frazier *et al.*, 1998; Neehring, 1993).

Los registros más frecuentes de intoxicaciones por cianotoxinas están relacionados con animales, domésticos o silvestres, que bebieron agua de sistemas con cianobacterias tóxicas (Tabla 3) y datan desde 1833, en Dinamarca (Moestrup, 1996). Los registros de intoxicaciones humanas han presentado diferente gravedad y datan desde 1931, como se muestra en los ejemplos de la Tabla 4 (Carmichael, 1981; Falconer, 1996; Falconer & Humpage, 1996; Pizzolón, 1996). Los casos más graves se refieren al “síndrome de Caruaru” que determinó el desarrollo de severos disturbios hepáticos en 100 pacientes de una clínica de diálisis del Norte de Brasil (Pernambuco), de los cuales 50 murieron en el término de pocos meses (Chorus & Bartram, 1999).

Tabla 3. Ejemplo de algunos registros de intoxicaciones animales a nivel mundial (Tomado de Chorus & Bartram, 1999), se destaca Argentina como registro sur-americano.

País	animal	patología	cianobacteria	Referencia
Argentina	Vacunos	Hepatotoxina	<i>M. aeruginosa</i>	Odriozola et al. 1984
Australia	Ovinos	Hepatotoxina	<i>M. aeruginosa</i>	Jackson et al., 1984
Australia	Ovinos	Neurotoxina	<i>A. circinalis</i>	Negri et al., 1995
Canadá	Vacunos	Neurotoxina	<i>A. flos-aquae</i>	Carmichael & Gorham, 1978
Canadá	Aves	Neurotoxina	<i>A. flos-aquae</i>	Pybus & Hobson, 1986
Finlandia	Perros	Hepatotoxina	<i>N. spumigena</i>	Perrson et al., 1984
Finlandia	Aves	Hepatotoxina	<i>P. agardhii</i>	Erikson et al., 1986
Noruega	Vacunos	Hepatotoxina	<i>M. aeruginosa</i>	Skulberg, 1979
Inglaterra	Perros	Hepatotoxina	<i>M. aeruginosa</i>	Pearson et al., 1990
Escocia	Perros	Neurotoxina	<i>Oscillatoria sp</i>	Jun et al., 1992
Escocia	Peces	Branquias-obstr.	<i>M. aeruginosa</i>	Bury et al., 1995
USA	Perros	Neurotoxina	<i>A. flos-aquae</i>	Mahmood et al., 1988

Sin embargo, los mayores riesgos están en la ingestión de bajas dosis (subletales) de microcystina durante un tiempo prolongado (Ueno et al., 1996; Yu, 1994), ya que promueve el desarrollo de enfermedades hepáticas crónicas a mediano y largo plazo, o causan malestares hepáticos y digestivos a corto plazo. Esta forma de ingestión puede darse, por ejemplo, disuelta en el agua potable o con tratamientos insuficientes para eliminar la toxina. Los riesgos por contacto con aguas de recreación son mayores en los nadadores que en los bañistas (Chorus & Bartram, 1999; Falconer, 1999). Se manifiestan en la irritación dérmica y/o síntomas gastrointestinales (nauseas, vómitos). Los casos más graves reportan internación y asistencia intensiva debido a neumonía (Falconer, 1996).

Tabla 4. Ejemplos de intoxicaciones en humanos debido a la cianotoxina microcystina, tomados de Chorus & Bartram, 1999. Se destacan los casos registrados en Brasil.

Lugar del Registro	Efectos tóxicos	Referencia
Brasil, 1985	Primer reporte para América Latina: 2000 casos de gastroenteritis por agua potable, con 88 letales	Teixeira et al., 1993
Brasil, 1996	Primer registro mundial de intoxicación por vía sanguínea: 130 pacientes dializados presentaron patologías hepáticas, 60 murieron en 10 meses	Pouria et al., 1998; Chorus & Bartram, 1999
USA (Río Ohio), 1931	Primer reporte mundial de gastroenteritis	Tisdale, 1931
Reino Unido, 1989	Intoxicación aguda de 20 deportistas por inhalación de spray durante canotaje	Turner et al., 1990
Australia, 1995	Registro de 852 casos de gastroenteritis, alergias, fiebre y úlceras dérmicas durante una floración de 7 días en aguas de recreación	Pilotto et al., 1997

Las intoxicaciones con neurotoxinas (anatoxinas, saxitoxinas y PSP) se manifiestan ante exposiciones a altas concentraciones y tienen efectos agudos o letales en mamíferos. Los registros más frecuentes

corresponden a intoxicaciones por consumo de moluscos con SXT o PSP de origen marino o dulceacuícola. Los efectos debidos a anatoxinas en animales son escasos e inexistentes en humanos (Chorus & Bartram, 1999). Los lipopolisacáridos pueden provocar alergias o molestias menores en los humanos pero hay muy poca información sobre sus efectos crónicos o agudos.

F ¿ Existen tratamientos para estas intoxicaciones?

No, lo que existen son medidas preventivas y correctivas. Una vez que se registra la intoxicación por cianotoxinas no hay antídoto para neutralizar sus efectos. Por tal motivo en los países que atienden este serio problema, se determinan políticas de prevención y control de la eutrofización así como estrictos monitoreos y controles de la calidad del agua (para potabilizar, potable y de recreación). Estas medidas tienden a evitar el contacto de la población con las toxinas.

G ¿Hay floraciones de cianobacterias tóxicas en Uruguay?

En Uruguay se han registrado floraciones de cianobacterias desde 1982 (CARP, 1989; Bonilla *et al.*, 1995; Bonilla, 1997; De León & Yunes, 2001; Méndez *et al.*, 1997; Pérez *et al.*, 1999), principalmente durante el verano. Sin embargo la presencia de toxinas (microcystinas) se determinó a partir de 1999, resultando tóxicas el 100 % de los eventos analizados. A partir de 2000 se han desarrollado estudios piloto en la cuenca del Río Negro y el Embalse Salto Grande, a través de diversos proyectos de la Sección Limnología de la Facultad de Ciencias, para determinar los factores ambientales asociados a la presencia de las floraciones. Actualmente se hacen esfuerzos por extender estos estudios a otros cuerpos de agua, buscando alcanzar conclusiones más generales que permitan, mediante grupos multidisciplinarios, trazar pautas de gestión de cuencas y manejo de sistemas acuáticos, que hagan posible el desarrollo del país sin comprometer la salud de sus habitantes.

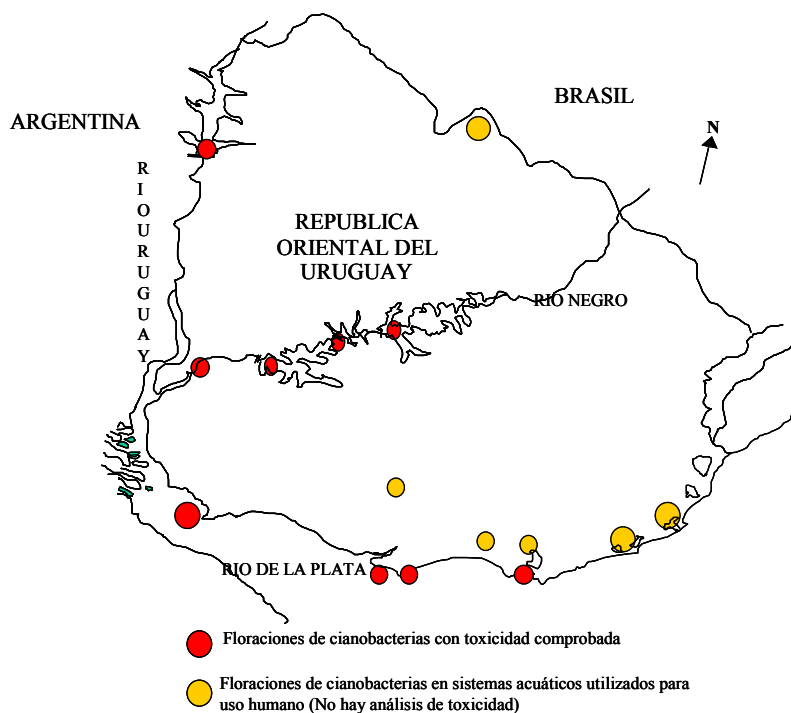


Figura 2. Ubicación de sistemas acuáticos con floraciones de cianobacterias tóxicas en Uruguay (círculos rojos) y de sistemas acuáticos utilizados para uso humano (recreación, fuente de agua potable, pesca) con floraciones de cianobacterias sin análisis de toxicidad (círculos amarillos).

LITERATURA CONSULTADA

- Bonilla, S. 1997. Composición y abundancia fitoplanctónica de tres embalses en cadena sobre el río Negro, Uruguay. *IHERINGIA*, Ser. Bot. 49: 47-61.
- Bonilla, S., M.C. Pérez y L. De León. 1995. Cyanophyceae planctónicas del Lago Ton Ton, Canelones, Uruguay. *Hoehnea* 21(1/2): 185-192.
- Carmichael, W. W. 1981. *The water environment. Algal toxins and health*. Plenum Press, New York.
- CARP (Comisión Administradora del Río de la Plata). 1989. Estudio para la evaluación de la contaminación en el Río de la Plata. Informe de Avance.
- Chalar, G., L. De León, R. De León, D. Fabián y J. Gorga. 1993. Evaluación de la eutrofización del embalse de Salto Grande. Análisis de las relaciones entre los parámetros físico-químicos y biológicos. Informe final de la Primera Etapa. Convenio CTM-Salto Grande-Universidad de la República, Facultad de Ciencias.
- Chorus I. & J. Bartram. 1999. *Toxic Cyanobacteria in Water. A guide to their public health consequences, monitoring and management*. WHO. E&FN Spon. London and New York. 416 pg.
- Codd, G.; S. Bell and W. Brooks. 1989. Cyanobacterial toxins in water. *Water Science and Technology* 21:1-13.
- Conde, D., S. Bonilla, J. Clemente, L. De León, D. Fabián, J. Gorga, G. Lazerot, M. Paradiso. 1994-1998. I-XV Informe del Muestreo Limnológico en el Embalse Rincón del Bonete (Gabriel Terra). Referencia bibliográfica resumida de los informes técnicos. Pre-convenio UTE-Facultad de Ciencias, Sec. Limnología.
- De León, L. & J.S. Yunes. 2001. First report of a Microcystin-containing bloom of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* in the La Plata River, South America. *Envir. Toxicol.* 16(1):110-112.
- Falconer, I. & A. Humpage. 1996. Tumour promotion by cyanobacterial toxins. *Phycologia* 35(6-Suppl.): 74-79.
- Falconer, I. 1993. Algal toxins in seafood and drinking water. Academic Press. 209 pp.
- Falconer, I. 1996. Potential impact on human health of toxic cyanobacteria. *Phycologia* 35 (6 Suppl.): 6-11.
- Falconer, I. 1999. An overview of problems caused by toxic blue-green algae (Cyanobacteria) in drinking and recreational water. *Environ. Toxicol.* 14:5-12
- Frazier, K, B. Colvin, E. Styer, G. Hullinger and R. Garcia. 1998. Microcystin toxicosis in cattle due to overgrowth of blue-green algae. *Vet. Hum. Toxicol.* 40(1): 23-24.
- Gorham & Carmichael. 1980. Toxic substances from fresh-water algae. *Progr. Water Technol.* 12:189-198.
- Hallegraeff, G. 1992. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia* 32(2): 79-99.
- Méndez, S., M. Gómez and G. Ferrari. 1997. Planktonic studies on the Río de la Plata and its oceanic front. In: Wells, P. & G. Daborn (Eds.). 1997. *The Río de la Plata and environmental overview*. An ECOPLATA Project Background Report. Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia. 248 p.
- Moestrup, Ø. 1996. Toxic blue-green alga (Cyanobacteria) in 1833. *Phycologia* 35 (6 suppl): 5.
- Neehring. 1993. Mortality of dogs associated with a mass development of *N. spumigena* in a brackish lake at the German North Sea Coast. *J. Plankton Res.* 15(7): 867-872.
- Pérez, MC, S. Bonilla, L. De León, J. Smarda and J. Komárek. 1999. A bloom of *Nodularia baltica/spumigena* group (Cyanobacteria) in a shallow coastal lagoon of Uruguay, South America. *Algological Studies* 93: 91-101.
- Pizzolón, L. 1996. Importancia de las cianobacterias como factor de toxicidad en las aguas continentales. *Interciencia* 21(6): 239-245.
- Pouria, S, A. de Andrade, J. Barbosa, R. Cavalcanti, V. Barreto, C. Ward, W. Presier, G. Poon, G. Neild and G. Codd. 1998. Fatal microcystin intoxication in haemodialysis unit in Caruaru, Brazil. *Lancet* 352(9121): 21-26.

- Quirós, R. and L. Lucchini. 1982. Características limnológicas del Embalse de Salto Grande, III: Fitoplancton y su relación con parámetros ambientales. Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral. 13: 49-66.
- Shapiro, J. 1990. Current beliefs regarding dominance by blue-greens: The case for the importance of CO₂ and pH. Verh. Intern. Verein. Limnol. 24:38-54.
- Sivonen, Kaarina. 1996. Cyanobacterial toxins and toxin production. Phycologia 35(6 Suppl.):12-24
- Ueno, Y., S. Nagata, T. Tsutsumi, A. Hasegawa, M. Watanabe, H. Park, G. Chen, G. Chen and S. Yu. 1996. Detection of microcystins, a blue-green algal hepatotoxin, in drinking water samples in Haimen and Fusui, endemic areas of primary liver cancer in China, by highly sensitive immunoassay. Carcinogenesis 17(6): 1317-1321.
- Utkilen, H. & N. Gjølme. 1992. Toxin production by *Microcystis aeruginosa* as a function of light in continuous cultures and its ecological significance. Apl. Env. Microb. 58(4): 1321-1325.
- Williams D., S. Dawe, M. Kent, R. Andersen, M. Craig and C. Holmes. 1997. Bioaccumulation and clearance of microcystins from salt water mussels, *Mytilus edulis*, and in vivo evidence for covalently bound microcystins in mussel tissues. Toxicon 35(11): 1617-1625.
- Yoshizawa, S., Matsushima, R; Watanabe, MF; Harada, KI; Ichihara, A; Carmichael, WW and Fujiki, H. 1990. Inhibition of protein phosphatases by microcystin and nodularin associated with hepatotoxicity. J. Cancer Res. Clin. Oncol. 116: 609-614.
- Yu, S. 1994. Toxic Cyanobacteria, Current Status of Research and Management, Proceedings of an International Workshop, Adelaide, Australia. Steffensen, D.A.& Nichols, B (Eds.). Australian Centre for Water Quality Research, Private Mail Bag. Salisbury, Australia 5108.