

FLORACIONES DE CIANOBACTERIAS EN AGUAS CONTINENTALES DEL URUGUAY: CAUSAS Y CONSECUENCIAS

LIZET DE LEON* - SECCION LIMNOLOGÍA, FACULTAD DE CIENCIAS

INTRODUCCION

Las floraciones de microalgas, también conocidas como “blooms”, son eventos de multiplicación y acumulación de estos organismos planctónicos en períodos de horas a días. Son fenómenos naturales que ocurren ante determinadas condiciones ambientales que favorecen el crecimiento de unas especies más que otras. El importante incremento en la frecuencia de aparición y duración de estos fenómenos a escala mundial está fuertemente asociado al incremento de las condiciones de eutrofización de los cuerpos de agua (Hallegraeff, 1992; Paerl, 1996), más que al efecto del calentamiento global, fenómeno que también incide.

Las aguas con alto contenido de nutrientes (eutrofizadas) u otros residuos químicos (contaminadas) alteran la composición de la biota que albergan. Una de las respuestas inmediatas y evidentes es la disminución de la diversidad de las comunidades, favoreciendo el incremento de las pocas especies más aptas para crecer en estas condiciones especiales. Las floraciones son una consecuencia de la eutrofización y pueden ser desarrolladas por diversas especies de fitoplancton pertenecientes a las Clases Bacillariophyceae (diatomeas), Chlorophyceae (algas verdes), Dinophyceae (dinoflagelados), Chrysophyceae, Cryptophyceae o Cyanophyceae (cianobacterias).

Las floraciones de cianobacterias

Las cianobacterias son frecuentes formadoras de floraciones en aguas continentales eutrofizadas (especialmente con altos niveles de nitrógeno y fósforo), siendo indicadores del deterioro de la calidad ambiental. Algunas especies de este grupo (*Microcystis* spp, *Anabaena* spp, *Aphanizomenon* spp) desarrollan floraciones fácilmente visibles debido a que las células se acumulan en la superficie de la columna de agua, formando una capa densa de algunos centímetros de espesor y de un color verde flúor característico. Estas especies ascienden a la superficie en un lapso de minutos a horas cuando la columna de agua se estabiliza, debido a la presencia de vacuolas de gas protoplasmáticas. Dicha estabilidad se da en condiciones de vientos menores a 3 m s^{-1} , de modo que en menos de 24 h un ambiente turbulento pasa a un estado estable y permite la acumulación de la floración en la superficie (Margalef, 1981; Reynolds & Walsby, 1975; Reynolds, 1987). Las floraciones de otras cianobacterias (*Planktothrix* spp, *Oscillatoria* spp, *Planktolyngbya* spp) no se acumulan en la superficie sino en niveles más profundos y menos iluminados (Reynolds

et al., 1983), o permanecen dispersas en la columna de agua, por lo que no siempre son visibles a simple vista.

Durante las floraciones se incrementan las interacciones entre las algas y otros microorganismos de su entorno o ficosfera (Paerl, 1988). Algunos de éstos pueden ser patógenos y están representados por bacterias, hongos, ciliados y ameboides que se sitúan dentro de las colonias, en las vainas de los filamentos, en las cápsulas o en los microambientes formados por la agrupación de organismos. Las floraciones de algunos géneros algales (*Microcystis*, *Anabaena* y *Aphanizomenon*) se caracterizan porque los organismos se agrupan formando grandes unidades coloniales. Las interacciones pueden ser azarosas e inespecíficas como en el caso de bacterias y amebas encontradas en el mucílago de *M. aeruginosa*. O pueden ser 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, ya sea por consumo o contacto.

Especies que desarrollan floraciones

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 con mayor frecuencia a nivel mundial. Entre ellos se destacan *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Planktothrix*, *Cylindrospermopsis* y *Nodularia*, ya sea por su amplia distribución como por los efectos debidos a la presencia de toxinas, denominadas genéricamente cianotoxinas y de las que se hablará más adelante en este capítulo.

Entre estas especies se encuentran *Microcystis aeruginosa* y *Nodularia baltica/spumigena*, encontradas con frecuencia en sistemas acuáticos del Uruguay (Bonilla, 1997; Bonilla *et al.*, 1995; CARP, 1989; Chalar *et al.*, 1993; De León, 1993; Kruk, 2002; Méndez *et al.*, 1997; Quirós & Lucchini, 1982) y en algunos casos desarrollando importantes floraciones (De León & Yunes, 2001; Pérez *et al.*, 1999a, b).

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>

***Microcystis aeruginosa* Kütz.**

Esta especie de cianobacteria es un organismo cosmopolita y tolerante a condiciones ambientales diversas. Su capacidad para formar vacuolas de gas asociada a condiciones de estabilidad de la columna de agua, propia del verano y principio de otoño, favorece la concentración de los organismos en la superficie y el desarrollo de la floración. Puede crecer en condiciones de alcalinidad ($\text{pH} > 7$) y baja concentración de nutrientes, situación frecuente en sistemas estratificados al final del verano (Reynolds, 1984), gracias a su capacidad de almacenar fósforo como gránulos de polifosfato y nitrógeno como gránulos de cianoficina (Paerl, 1988).

Las floraciones de *M. aeruginosa* se dan generalmente en condiciones de poco o nulo viento y en un amplio rango de temperatura (Parra *et al.*, 1986). Cuando la floración desaparece, algunos organismos de este género sobreviven durante largos períodos de tiempo, incluso años, como colonias de células vegetativas depositadas sobre el sedimento, aparentemente sin luz ni oxígeno. Estas colonias actúan como propágulos y vuelven a la columna de agua cuando las condiciones ambientales son favorables para su desarrollo (Reynolds, 1987; Reynolds *et al.*, 1981).

Floraciones tóxicas

Algunas cepas de cianobacterias sintetizan metabolitos secundarios que tienen efectos tóxicos sobre la biota (Chorus & Bartram, 1999). Estos metabolitos tóxicos, denominados genéricamente cianotoxinas, comprenden un variado grupo de moléculas de diferentes características (Tabla 2). Son básicamente neurotoxinas, dermatotoxinas, gastrotoxinas y hepatotoxinas. En el hombre pueden causar desde ligeros malestares digestivos hasta muerte por asfixia o deshidratación (Carmichael, 1981; Falconer, 1999; Sivonen, 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.

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) Saxitoxina (SXT)	<i>Anabaena</i> spp <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)	

La microcystina es la toxina de mayor frecuencia y toxicidad a nivel humano. Es una hepatotoxina que afecta principalmente a las células del hígado, provocando lisis o alterando su actividad metabólica, induciendo la formación de tumores hepáticos (Brooks & Codd, 1987; Bumke-Vogt *et al.*, 1996; Chorus & Bartram, 1999; Falconer, 1999; Harada, 1996; Jungmann, 1992; Sivonen, 1996; Utkilen & Gjølme, 1992; Watanabe *et al.*, 1981).

Se estima que más del 50 % de las floraciones de cianobacterias de aguas continentales, registradas o no, son tóxicas (Lauren-Määttä *et al.*, 1995). Las toxinas producen efectos diversos según el nivel de toxicidad de la floración, 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 formación 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).

CAUSAS

Los factores que favorecen el desarrollo de floraciones de cianobacterias, así como sus efectos, se resumen en la figura 1 y se tratarán con mayor detalle a lo largo de este capítulo. Para crear las condiciones favorables al desarrollo de una floración basta con que estén presentes algunos y no todos los factores mencionados, dependiendo de las características naturales de los sistemas acuáticos.

Los procesos asociados a actividades humanas más relevantes que determinan las floraciones son:

- 1- Los aportes puntuales, provenientes de aguas residuales domésticas o industriales no tratadas, que son vertidas directa o indirectamente a los sistemas acuáticos.
- 2- Los aportes difusos provenientes de aguas de escorrentía debido al lavado de suelos de áreas cultivadas y fertilizadas, de suelos deforestados o de campos con ganadería (ya sea extensiva, tambos, etc.).
- 3- La aridez de regiones próximas o dentro de la cuenca hidrográfica, o los efectos similares debidos a suelos sin vegetación.
- 4- El manejo de los flujos de salida (manejo de las compuertas de las represas) mediante el cual es posible regular el tiempo de residencia del agua en los embalses.

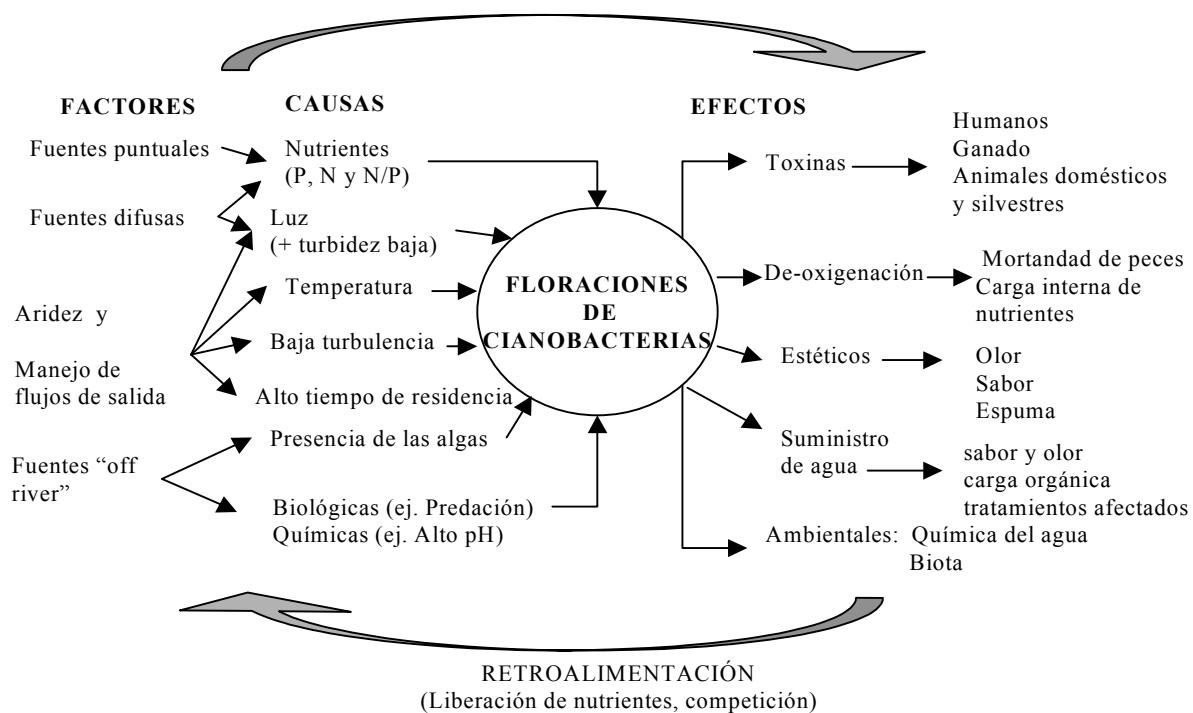


Figura 1. Diagrama simplificado de los factores que determinan las causas de las floraciones de cianobacterias y los efectos de éstas sobre los sistemas acuáticos, su biota y sus potenciales usos (modificado de Watanabe *et al.*, 1995).

Entre las **causas** que favorecen y controlan el desarrollo de floraciones se destacan:

- 1) La carga excesiva de **nutrientes** en el agua, principalmente de nitrógeno (N) y fósforo (P). Estos elementos, fundamentales para la vida de los organismos, son incorporados en una proporción molecular de 7N:1P. El exceso de alguno de ellos transforma al otro en un nutriente limitante para el crecimiento algal, de modo que solo aquellas especies capaces de desarrollar determinadas estrategias podrán superar esa carencia y alcanzar densidades muy altas. Cuando estas condiciones no ocurren, la floración desaparece y da lugar a otros organismos. Este proceso de enriquecimiento puede verse acelerado por la participación del hombre mediante aportes debidos a las actividades industriales, rurales y a los residuos domésticos. El control de estos aportes hace posible la disminución de las floraciones y hasta la desaparición del fenómeno.
- 2) El incremento de la **intensidad luminosa** propia de primavera y verano, que generalmente va asociado al incremento de la temperatura y de la duración del día solar, es otro factor determinante. La luz tiene incidencia directa sobre el metabolismo algal, de modo que al aumentar la intensidad luminosa también aumenta la actividad fotosintética y la demanda de

nutrientes. Se produce un incremento de la biomasa de las células algales y de la tasa de multiplicación, que ocasiona el incremento de las poblaciones de determinadas especies. Cuando la floración se acumula en la superficie de la columna de agua, se produce un sombreado sobre el resto de las especies dispersas en los niveles inferiores y con ello una limitación de su crecimiento. La alta intensidad luminosa también puede producir fotoinhibición en algunas especies y/o ocasionar la muerte y sedimentación de las algas acumuladas en la superficie. Por otra parte, el aporte de sedimentos mediante fuentes difusas incrementa la turbidez de la columna de agua limitando el crecimiento algal. En este sentido, las especies de cianobacterias que poseen vacuolas de gas regulan su posición en la columna de agua y permanecen en las capas superiores iluminadas, donde pueden desarrollar floraciones.

- 3) El aumento de la **temperatura** del agua por sobre los 20 °C favorece el desarrollo de las cianobacterias, ya que incrementa las tasas de crecimiento y de reproducción celular. La mayoría de las floraciones de este grupo se registran durante períodos cálidos. Excepcionalmente *M. aeruginosa* es citada como una especie que desarrolla floraciones en ambientes con temperatura < 20 °C (Parra *et al.* 1986). Otro efecto del aumento de la temperatura está relacionado con la estratificación de la columna de agua. Al incrementarse la temperatura de las capas superficiales, se forma un gradiente vertical de densidad que resulta en la estratificación de la columna de agua. En ausencia de viento o con **baja turbulencia** (velocidad del viento menor a 3 m s⁻¹), se acelera el proceso de sedimentación de las partículas, incluidas otras especies de algas, el agotamiento de los nutrientes y la acumulación superficial de las cianobacterias (figura 2).



Figura 2. Apariencia de una floración mostrando la acumulación superficial de las algas (zonas claras) contrastando con el resto de la columna de agua cuando los organismos se remueven mecánicamente (zonas oscuras).

- 4) Los sistemas acuáticos con **altos tiempos de residencia** del agua favorecen el desarrollo de floraciones. Esta causa tiene relación directa con la estratificación de la columna de agua, el incremento en la tasa de sedimentación de las partículas, el aumento de la transparencia y la acumulación de las cianobacterias en la superficie. En algunos sistemas, los altos tiempos de residencia determinan la anoxia (ausencia de oxígeno) de los niveles más profundos y con ello la liberación de compuestos químicos reducidos desde el sedimento, constituyendo un incremento de la carga interna de nutrientes al sistema. Los cuerpos de agua con bajo tiempo de residencia (< 10 días), como los sistemas fluviales (ríos), o los embalses con tasas de renovación altas, impiden el establecimiento de las condiciones ambientales favorables al crecimiento de las cianobacterias.
- 5) La **turbulencia**, que generalmente está asociada a la presencia del viento, determina una disminución de la transparencia del agua por aumento de la turbidez en ambientes someros (resuspensión), actuando como un factor controlador de las floraciones, ya que ocasiona una disminución de la tasa de fotosíntesis y de la biomasa algal. Cuando la intensidad del viento ocasiona la mezcla de la columna de agua, impide la acumulación de las cianobacterias en la superficie y favorece la resuspensión de los nutrientes. Por otra parte, la distribución y ubicación de una floración en un cuerpo de agua tiene relación también con la dirección del viento antes y/o durante el acontecimiento. Las floraciones se acumulan en las bahías hacia donde sopla el viento y/o en las zonas protegidas (figura 3).
- 6) Entre las causas no controlables se mencionan la **presencia de especies** capaces de desarrollar floraciones (tabla 1) y los efectos debidos a las **interacciones** entre las comunidades planctónicas. Un ejemplo claro es el efecto de la predación del zooplancton sobre las especies de

fitoplancton competidoras con las cianobacterias por algún recurso (nutrientes, luz). Cuando esto ocurre, la ausencia del competidor establece un nicho que es rápidamente colonizado por las cianobacterias y permite el desarrollo de la floración.

- 7) Factores adicionales como la disminución en la concentración de carbono inorgánico disuelto en el agua con el consiguiente incremento del **pH**, también favorece el desarrollo de floraciones. Este incremento del pH puede estar dado por las características naturales del sistema (aguas duras) o por los efectos del crecimiento de la comunidad fitoplanctónica. En este sentido, la incorporación de carbono (C), que las algas toman como CO₂ disuelto en el agua mediante la fotosíntesis, determina un cambio en la concentración de iones debido a la disminución del C disponible, un aumento del pH y una limitación para el crecimiento de muchas especies de algas, excepto las cianobacterias.

CONSECUENCIAS

En aguas dulces y estuarinas, las floraciones son indicadoras de un proceso de eutrofización acelerada, a la vez que ocasionan perjuicios con relación a los diversos usos del recurso. Entre los efectos más destacables de estos fenómenos se mencionan:

- 1) La presencia de **cianotoxinas** y el consiguiente riesgo de intoxicación de los seres vivos en contacto con el fenómeno. Como ejemplo: las floraciones de *M. aeruginosa*, especie cosmopolita que también desarrolla floraciones tóxicas en Uruguay, producen efectos negativos sean o no tóxicas. Cuando estos fenómenos 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 (figuras 3 y 4) (Codd *et al.* 1989; Falconer, 1996, 1999; Falconer & Humpage, 1996). La toxina de esta especie, microcystina, es una hepatotoxina potente, 100 veces más que el cianuro (Pizzolón, 1996). La ingestión de agua con altas concentraciones de cepas tóxicas de esta alga ocasiona la muerte de animales (desde pequeñas aves a ganado) (Carmichael, 1981; Falconer, 1993, 1996; Frazier *et al.*, 1998; Neering, 1993; Vasconcelos, 1999) y/o efectos acumulativos crónicos que pueden producir la muerte por la formación de tumores hepáticos (Chorus & Bartram, 1999). 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 $2 \cdot 10^5$ 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. También se han registrado efectos nocivos de diferente gravedad en seres humanos (Carmichael, 1981; Chorus & Bartram, 1999;

Falconer, 1996; Falconer & Humpage, 1996; Pizzolón, 1996) a causa del contacto, ingestión o inhalación de la microcystina. Se consideran de mayor riesgo los efectos debidos a la ingestión de dosis subletales de toxina, ya sea en forma disuelta dada su presencia en cuerpos de agua destinados a potabilización y/o recreación, o por consumo de organismos acuáticos en contacto con floraciones tóxicas (Falconer, 1996; Freitas *et al.*, 2001; Laurén-Määttä *et al.* 1995; Neehring, 1993; Williams *et al.*, 1997).

- 2) Otro efecto de las floraciones de cianobacterias se relaciona con la **alta productividad** primaria de la comunidad planctónica. Esto determina, por un lado, un incremento en el consumo de oxígeno debido a la respiración de las algas y especialmente de los microorganismos degradadores de esa biomasa. Por otra parte, se produce una alteración de las propiedades químicas del agua, especialmente del **pH**, debido al consumo del carbono que puede volverse limitante para el desarrollo de otras microalgas. Esto favorece la **disminución de la diversidad** de la biota del sistema.
- 3) El mayor consumo de oxígeno que se produce cuando la floración sedimenta, frecuentemente ocasiona la **anoxia** en los niveles más profundos del cuerpo de agua. Este efecto puede determinar la muerte de la fauna ictícola (peces), especialmente los que viven próximos al sedimento. También está asociado a la liberación de nutrientes reducidos desde el sedimento, junto al desarrollo de bacterias sulfatantes y la liberación de SH₂ (gas sulfhídrico).
- 4) La liberación de SH₂ determina que el agua tenga un **olor y sabor desagradable**, además de resultar un compuesto tóxico para la biota del sistema. El fuerte olor y sabor del agua y de los organismos acuáticos, puede también estar asociado a la presencia de compuestos volátiles (Geosmina y 2-methyl-isoborneol o 2-MIB) sintetizados por algunas especies de cianobacterias y/o hongos (actinomicetes). Estos productos dificultan y encarecen los **tratamientos de potabilización** del agua, que conjuntamente con las toxinas disueltas, deben ser totalmente removidos del sistema. También pueden ser causantes de mal sabor en los productos de pesca, limitando su consumo.



Figura 3. Aspecto de una floración cuando se acumula en las zonas costeras protegidas del viento. Se observa una importante biomasa algal que comienza a descomponerse.



Figura 4. La restricción de baños es una medida preventiva contra los efectos de las floraciones.

- 5) Las floraciones de cianobacterias afectan a los organismos acuáticos por algunas de las causas antes mencionada o por otros efectos mecánicos o bioquímicos, ya sea colmatando mecánicamente las agallas de los peces e impidiendo el intercambio gaseoso, intoxicando directamente a los organismos o indirectamente a través de la cadena trófica.

Floraciones de cianobacterias tóxicas en Uruguay

En nuestro país se han registrado floraciones de cianobacterias desde 1982 (CARP, 1989; Bonilla *et al.*, 1995; Bonilla, 1997; De León & Yunes, 2001; Kruk *et al.*, 2002; Méndez *et al.*, 1997; Pérez *et al.*, 1999b; Scasso *et al.*, 2001; Sommaruga, 1995), principalmente durante el verano. En 1999 se iniciaron los análisis de toxicidad de las floraciones (De León & Yunes, 2001), resultando tóxicas el 100 % de las muestras analizadas provenientes de los sistemas que se indican en la figura 5. También se encontró toxicidad en el agua potable abastecida por algunos de estos sistemas, en concentraciones superiores al límite recomendado por la Organización Mundial de la Salud (1 µg de microcystina/l). Los estudios sistemáticos tendientes a identificar las causas que determinan estos eventos tienen un origen reciente, a partir del año 2000, y se desarrollan en un área piloto de la cuenca del Río Negro, a través de diversos proyectos de la Sección Limnología de la Facultad de Ciencias. 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 productivo sin comprometer la salud de los habitantes.

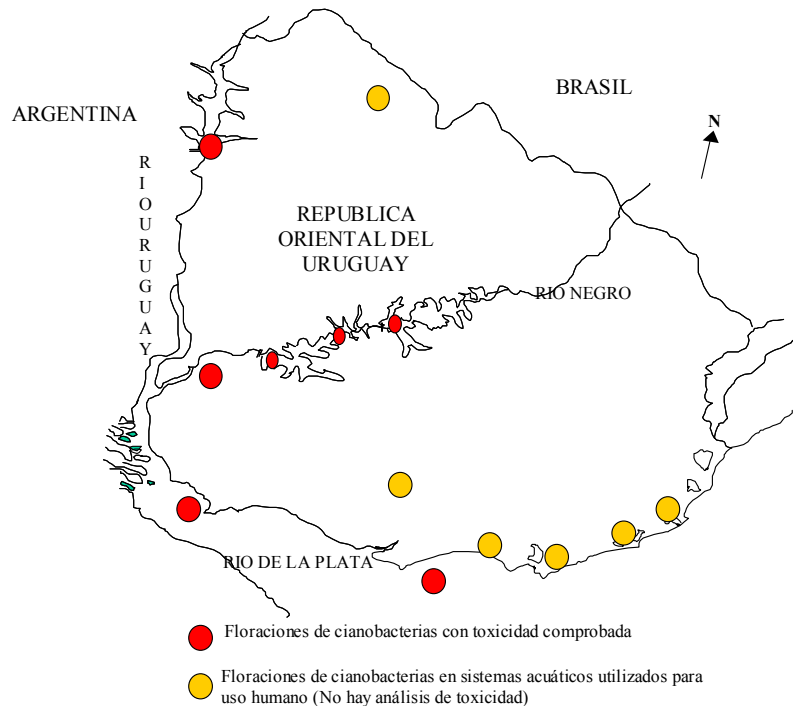


Figura 5. Ubicación de sistemas acuáticos de Uruguay donde se detectaron floraciones de cianobacterias tóxicas (círculos rojos) y de sistemas acuáticos utilizados para uso humano (recreación, fuente de agua potable, pesca) donde se registraron floraciones pero no se dispone de datos de toxicidad (círculos 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.

Brooks, W. & G. Codd. 1987. Distribution of *Microcystis aeruginosa* peptide toxin and interactions with hepatic microsomes in mice. *Pharmacology & Toxicology* 60:187-191.

Bunke-Vogt, C.; W. Mailahn; W. Rotard and I. Chorus. 1996. A highly sensitive analytical method for the neurotoxin anatoxin-a, using GC-ECD, and first application to laboratory cultures. *Phycologia* 35 (6-Suppl.): 51-56.

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.

Chorus, I. and J. Bartram. 1999. *Toxic cyanobacteria in water. A guide to their public health*

consecuencias, monitoring and management. World Health Organization. 416 pg.

Codd, G.; S. Bell and W. Brooks. 1989. Cyanobacterial toxins in water. *Water Science and Technology* 21:1-13.

Codd, G. & Beattie. 1991. Cyanobacterias (blue-green algae) and their toxins awareness and action in the United Kingdom. *Public Health Lab. Ser. Microbiol. Digest*. 8: 82-86.

De León, L. 1993. Fitoplancton de un sistema eutrófico. Composición y variación anual de su biomasa. Tesis para optar a la Licenciatura en Oceanografía Biológica. Facultad de Ciencias. 100 pg.

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. *Environm. 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.

Freitas de Magalhaes, V., R. Moraes Soares and S. M.F.O. Azevedo. 2001. Microcystin contamination in fish from the Jacarepaguá Lagoon (Río de Janeiro, Brazil): Ecological implication and human risk. *Toxicon* 39:1077-1085.

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.

Harada, K. 1996. Trace analysis of microcystins. *Phycologia* 35 (6 Suppl.): 36-41.

Jungmann, D. 1992. Toxic compounds isolated from *Microcystis* PCC7806 that are more active against *Daphnia* than two microcystins. *Limnol.Oceanol.* 37(8): 1777-1783.

Laurén-Määttä, C.; J. Hietala; M. Reinikainen & M. Walls. 1995. Do *Microcystis aeruginosa* toxins accumulate in the food web: a laboratory study. *Hydrobiol.* 304: 23-27.

Margalef, R. 1981. *Limnología*. Ed. Omega.

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.

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.

Paerl, H. 1988. Growth and reproductive strategies of freshwater blue-green algae (cyanobacteria). En: Sandgren, C. (Ed.). 1988. *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. Cap. 7: 261-315. Cambridge Univ. Press. 442 pg.

Paerl, H. 1996. A comparison of cyanobacterial bloom dynamics in freshwater, estuarine and marine environments. *Phycologia* 35(6): 25-35.

Parra, O., D. Avilés, J. Becerra, V. Dellarossa and R. Montoya. 1986. First toxic blue-green algal bloom recorder for Chile: A preliminary report. *Gayana Bot.* 43(1-4): 15-17.

Pérez, MC.; S. Bonilla y G. Martínez. 1999a. Phytoplankton community of a polymictic reservoir, La Plata River Basin, Uruguay. *Rev. Brasil. Biol.* 59 (4):535-541.

Pérez, MC, S. Bonilla, L. De León, J. Smarda and J. Komárek. 1999b. 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.

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.

Reynolds, C. 1984. *The ecology of fresh-water phytoplankton*. Cambridge University Press. 384 pg.

Reynolds, C. 1987. Cyanobacterial water blooms. *Adv. Bot. Research* V.13.

Reynolds, C., G.H.M. Jaworski, H.A. Cmiech and G.F. Leedale. 1981. On the annual cycle of the blue-green alga *Microcystis aeruginosa* Kütz. Emend. Elenkin. *Phil. Trans. R. Soc. London.* 293:419-477.

Reynolds, C., J.G. Tundisi and K. Hino. 1983. Observations on a metalimnetic *Lyngbya* population in a stably stratified tropical lake (Lagoa Carioca, Eastern Brasil). *Arch. Hydrobiol.* 97 (1): 7-17.

Reynolds, C. & Walsby. 1975. Water blooms. *Biol. Rev. Cambridge Philos. Soc.* 50: 437-481.

Scasso, F., Mazzeo, N., Gorga, J., Kruk, C., Lacerot, G., Clemente, J., Fabian, & Bonilla, S. (2001). Limnological changes of a subtropical shallow hypertrophic lake during its restoration. Two years of whole-lake experiment. *Aquatic Conserv: Mar. Fresh. Ecosyst*, 11: 31-44.

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(& Suppl.):12-24

Sommaruga, R. (1995). Microbial and classical food weds: a visit to a hypertrophic lake. *FEMS Microb. Ecol.*, 17: 257-270.

Utkilen, H. & N. Gjölme. 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.

Vasconcelos, V. 1999. Cyanobacterial toxins in Portugal: effects on aquatic animals and risk for human health. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 32(3): 249-254.

Watanabe, M.; S. Oishi and T. Nakato. 1981. Toxic characteristics of *Microcystis aeruginosa*. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 21:1441-1443.

Watanabe, M., K. Harada, W. Carmichael and H. Fujiki. 1995. *Toxic Microcystis*. CRC Press. 258 pg.

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.

Este documento es uno de los capítulos del libro Perfil Ambiental del Uruguay 2002, Editado por Ana Domínguez y Ruben G. Prieto, Editorial Nordan-Comunidad. Es publicado aquí con su permiso.

Debe ser citado de la siguiente manera:

De León, L. (2002) Floraciones de cianobacterias en aguas continentales del Uruguay: causas y consecuencias. **En:** Perfil Ambiental del Uruguay 2002, Domínguez, A. y R. G. Prieto (eds.), Nordan-Comunidad, Montevideo, p.28-37.

DATOS DEL AUTOR.

* **Lizet De León**, es Licenciada en Oceanografía Biológica (Universidad de la República) y Master en Ciencias (Escuela de Graduados de la Universidad de Concepción, Chile). Actualmente se desempeña como Profesora Aiatente de la Sección Limnología de la Facultad de Ciencias. Su línea de investigación se refiere al conocimiento de la taxonomía y ecología del fitoplancton de aguas continentales. Esto incluye los recientes estudios sobre biología y ecología de las floraciones de cianobacterias potencialmente tóxicas en nuestro país.

De León, L. (2002) Floraciones de cianobacterias en aguas continentales del Uruguay: causas y consecuencias. **En:** Perfil Ambiental del Uruguay 2002, Domínguez, A. y R. G. Prieto (eds.), Nordan-Comunidad, Montevideo, p.28-37.