



Foto: Equipo de muestreo INIA- LATU

Equipo de muestreo INIA- LATU en Rincón del Bonete, enero 2021.

# IMPACTO DE LAS CIANOTOXINAS EN LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA Y EL AMBIENTE

Dra. Lic. Biol. MSc. María Teresa Federici<sup>1,2</sup>,  
 Dra. Ing. Agr. María Vallejos<sup>2</sup>,  
 Lic. Biol. MSc. Claudia Simón<sup>2</sup>,  
 Ing. Agr. MSc. PhD Pablo Rovira<sup>3</sup>,  
 Ing. Agr. MSc. PhD Verónica Ciganda<sup>4</sup>,  
 Lic. Bioq. MSc. Natalia Rigamonti<sup>5</sup>,  
 Lic. Biol. MSc. Graciela Ferrari<sup>6</sup>,

<sup>1</sup>Unidad de Biotecnología - INIA

<sup>2</sup>Programa de Investigación en Producción y Sustentabilidad Ambiental - INIA

<sup>3</sup>Programa de Investigación en Producción de Carne y Lana - INIA

<sup>4</sup>Directora del Programa de Investigación en Producción y Sustentabilidad Ambiental - INIA

<sup>5</sup>Departamento de Toxinas - LATU

<sup>6</sup>Departamento de Calidad de Agua y Evaluación Ambiental - LATU

La búsqueda de un compromiso entre la producción de alimento, la conservación de los ecosistemas y la disponibilidad de agua adecuada para potabilización es de una importancia relevante. A partir de resultados obtenidos en nuestro país, este artículo analiza la problemática y pone en relieve la necesidad de diseñar sistemas de producción cuyas prácticas de manejo incluyan el cuidado y preservación de los recursos hídricos.

## CUERPOS DE AGUA, EUTROFIZACIÓN Y CIANOBACTERIAS

La calidad del agua se encuentra fuertemente comprometida por el proceso de eutrofización, definido como el incremento de nutrientes en cuerpos de agua (principalmente nitrógeno y fósforo). Este enriquecimiento genera un ambiente propicio para la proliferación de cianobacterias planctónicas, que pueden producir

cianotoxinas de alto riesgo, tanto para la salud humana como animal. El proceso de eutrofización comenzó a acelerarse en gran parte del mundo a partir de la segunda mitad del siglo XX debido a la urbanización y a la industrialización, así como a la intensificación de la producción agrícola, ganadera y lechera de las últimas décadas. Desde entonces, floraciones masivas de cianobacterias aparecieron en lagos y embalses en los que este fenómeno aún no era conocido.

En el caso de Uruguay, el proceso de intensificación de la eutrofización fue diagnosticado en las últimas décadas del siglo pasado. Sin embargo, esta problemática no fue percibida por la población hasta las crisis del agua potable en el área metropolitana asociada a las ciudades de Montevideo y Maldonado en 2013 y 2015, respectivamente; así como hasta la aparición generalizada de floraciones en varias playas del país en 2019. Los aportes de nutrientes a los cuerpos de agua pueden ser puntuales (efluentes industriales y urbanos, tambos, corrales de encierro) o difusos (provenientes de la escorrentía de suelos ricos en nutrientes, ya sean de uso agrícola y/o ganadero). Por otro lado, la construcción de embalses para la generación de energía eléctrica, en los que se controla artificialmente el flujo del agua y su tiempo de residencia o permanencia en los reservorios, juega un papel importante en la acumulación de la biomasa del fitoplancton aguas abajo, incluidas las cianobacterias (1)\*.

Las cianobacterias son organismos con gran capacidad adaptativa. Tienen la facultad de crecer a bajas o altas intensidades de luz, optimizar la fotosíntesis mediante la flotación en la columna de agua, o crecer en ambientes deficientes en nutrientes, entre otras características. Si bien las floraciones de cianobacterias están asociadas a épocas estivales, en los últimos años en Uruguay se han registrado durante todo el año. Las floraciones se producen principalmente en cuerpos de agua lénticos, es decir, en aquellos en los que el agua prácticamente no fluye y que, por lo tanto, el tiempo de residencia es alto (por ejemplo, lagunas, tajamares y embalses), lo que genera frecuentemente una alta concentración de nutrientes. En nuestro país, la Ley N° 19.553 del año 2017 sobre riego con destino agropecuario, ha promovido la creación de embalses en establecimientos, lo cual genera la necesidad de un diseño y uso sostenible de los mismos, así como un mejor control y manejo de dichos cuerpos de agua, a fin de evitar la aparición de floraciones de cianobacterias.



**Figura 1** - Especie *Dolichospermum uruguayense*, identificada por microscopía óptica en el Departamento de Aguas y Evaluación Ambiental del LATU.

Los aportes de nutrientes a los cuerpos de agua pueden ser puntuales (efluentes industriales y urbanos, tambos, corrales de encierro) o difusos (provenientes de la escorrentía de suelos ricos en nutrientes, ya sean de uso agrícola y/o ganadero).

## CIANOTOXINAS, UN PELIGRO PARA LA SALUD

Las cianobacterias pueden producir cianotoxinas, es decir metabolitos secundarios altamente tóxicos para la salud humana y animal. A nivel mundial, se estima que el 80 % de las floraciones de cianobacterias en aguas continentales son tóxicas. Entre las especies afectadas se puede mencionar la muerte de vacunos, ovejas, perros, caballos y cerdos, entre otros; llegando incluso a matar rinocerontes y elefantes como en el caso de la muerte masiva de 330 elefantes en Botsuana en 2020, cuya causa se adjudicó a efectos neurológicos sufridos luego de beber agua con cianobacterias (2).

Existe una gran diversidad de toxinas producidas por distintos géneros de cianobacterias, cuya producción también depende de factores ambientales como los nutrientes, temperatura, etc. Asimismo, los mecanismos de toxicidad descritos y entendidos actualmente también son muy diversos y se extienden desde efectos hepatotóxicos (cilindrospermopsina, nodularina, microcistina), neurotóxicos (saxitoxina, anatoxina-a) y dermatotóxicos (lingbiatoxina-a, aplasiatoxina y LPS), a la inhibición general de la síntesis de proteínas. Este artículo está focalizado en las neurotoxinas, que en su mayoría no se analizan en el país y pueden representar un mayor riesgo ambiental y sanitario respecto a los otros tipos de toxinas. Muchos de los géneros y especies potencialmente productores de neurotoxinas (3) han sido detectados en nuestro país y se describen en el manual de la UNESCO (2009) (4).

Además del consumo de cianobacterias del agua, se ha sugerido que una fuente adicional de la intoxicación de los animales terrestres podría deberse a la bioacumulación de cianotoxinas en la cadena alimentaria. Numerosos reportes señalan que esta acumulación puede ser particularmente relevante, alcanzando el hígado y músculos de peces (fitoplanctívoros, omnívoros y carnívoros) en concentraciones que pueden superar la dosis diaria tolerable provisional propuesta por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

En Uruguay, las cianotoxinas no están incluidas de forma explícita en el Reglamento Bromatológico Nacional ni tampoco se realiza registro de casos de

\* La numeración se corresponde con la bibliografía que se presenta al final del artículo.

afectación de salud por exposición a cianobacterias ni para humanos, ni para animales. Existe solo un reporte de caso de intoxicación de una niña de 20 meses en playas de Montevideo en 2015 (5).

### RIESGO DE INTOXICACIÓN EN ANIMALES DE PRODUCCIÓN

Las condiciones de la producción ganadera pastoril muestran cierta vulnerabilidad y riesgo del ganado a la ingesta de agua que puede contener cianobacterias tóxicas. El ganado es inevitablemente más vulnerable a este tipo de intoxicación, ya que su acceso al agua puede estar restringido, ya sea por la topografía o por el cercado. El desconocimiento del riesgo de intoxicación por cianobacterias, en general, impide una evaluación correcta de la magnitud del problema y por otro lado impide actuar preventivamente. Si bien se han investigado algunos casos que han producido un número importante de muertes bovinas (6, 7, 8), existen otras situaciones que afectan a un número reducido de animales que pasan desapercibidas o con diagnósticos indeterminados.



Fuente: <https://www.cdc.gov/>

**Figura 2** - Bovino bebiendo agua con probabilidad de contener cianobacterias potencialmente tóxicas.

En Uruguay, el primer diagnóstico de intoxicación fue reportado en 2009 en el Departamento de Canelones, para bovinos de la raza Hereford que tuvieron acceso a tajamares donde se detectó la presencia de cianobacterias potenciales productoras de neuro y hepatotoxinas. (6). Más recientemente se han detectado microcistinas en sangre de ganado que abrevaba en el río Negro (Rincón del Bonete y Baygorria) en presencia de floraciones (8). Esta situación podría derivar en un perjuicio económico importante para la ganadería si no se toman medidas preventivas.

### PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y CIANOBACTERIAS EN LA CUENCA DEL RÍO NEGRO

El uso del suelo en la cuenca del río Negro mostró intensas modificaciones en las últimas dos décadas. Según el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (DINAMA, 2018) entre los años 2000 y 2018 el porcentaje de área destinada a la agricultura en la cuenca del río Negro aumentó del 15 % al 23 %, las forestaciones aumentaron del 6 al 11 %, mientras que la cobertura de pastizales disminuyó del 73 % al 59 %. El cambio en el uso del suelo hacia actividades productivas podría haber aumentado las cargas de fósforo y nitrógeno total en este río, generándose condiciones propicias para la proliferación de cianobacterias (1). En Uruguay la mayoría de los ecosistemas acuáticos excede ampliamente la concentración de  $25 \mu\text{g/L}^{-1}$  de fósforo total (PT), prevista como valor límite superior en la normativa vigente de Uruguay (Decreto 253/79 y modificativos, Uruguay 1979) (1).

Recientemente, la OMS (3) ha propuesto valores guía para varias cianotoxinas, así como indicadores cuantitativos de cianobacterias y niveles de alerta de agua para potabilización y uso recreativo, definiendo categorías de peligrosidad en base a dichos indicadores. Bonilla y col, 2021 (1) evidenciaron un aumento de casos de categorías que indican peligrosidad media a alta en la mayoría de las floraciones del río Negro, las cuales estuvieron dominadas por *Dolichospermum* y *Microcystis*, que son los grupos más frecuentes en los cuerpos de agua del país. Estos géneros pueden producir tanto dermatotoxinas, hepatotoxinas así como potentes neurotoxinas. En total, se detectaron 21 géneros de cianobacterias entre 1991 y 2018, de los cuales *Dolichospermum* (orden Nostocales) fue el más frecuente, seguido de *Microcystis*, *Pseudoanabaena* y *Radiocystis*.

Hasta el momento, las únicas toxinas que han sido registradas y analizadas en el río Negro fueron las microcistinas alcanzando valores extremadamente altos ( $>24 \mu\text{g/L}^{-1}$ ) en muestras provenientes de espuma de cianobacterias. Estos valores categorizan como “alerta 2” e indican peligrosidad alta para aguas de recreación, según la OMS. Esta situación podría verse aún más agravada dadas las predicciones del cambio climático que pronostican un aumento de eventos meteorológicos extremos, los cuales actuarían en sinergia con la eutrofización (1).

El cambio en el uso del suelo hacia actividades más intensivas podría haber aumentado las cargas de fósforo y nitrógeno total en el río Negro, generándose condiciones propicias para la proliferación de cianobacterias.



**Figura 3** - Muestreo de monte nativo en Rincón del Bonete, enero 2021.

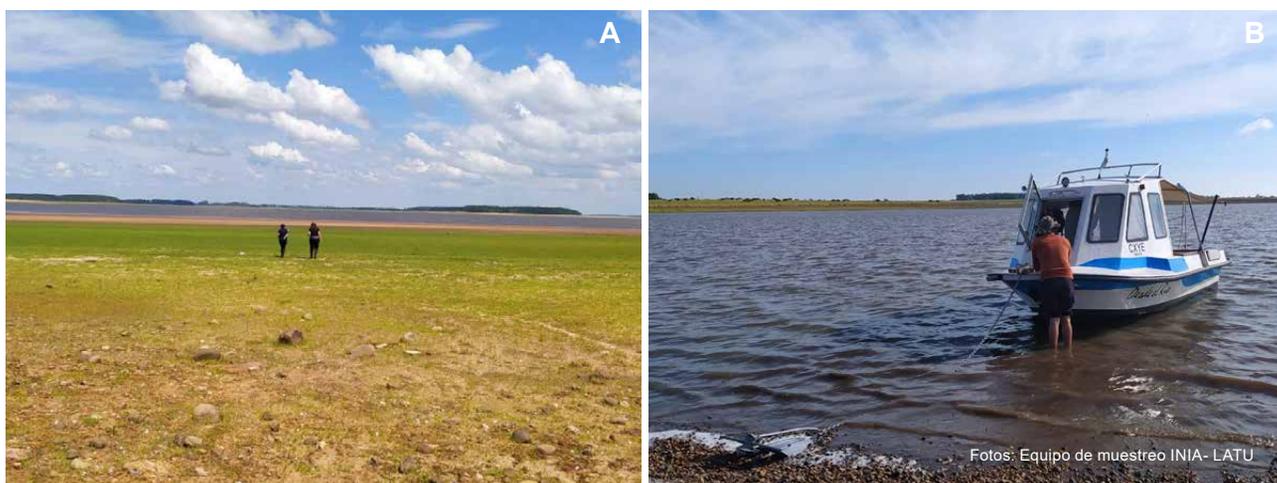
INIA, en colaboración con LATU, está estudiando el impacto del uso del suelo sobre la aparición de cianobacterias, y evaluando herramientas moleculares para la detección de floraciones de cianobacterias potencialmente tóxicas en un estudio de caso situado en el embalse Rincón del Bonete.

Para obtener una mejor comprensión del fenómeno de las floraciones y la producción de cianotoxinas en los sitios de muestreo se están evaluando los resultados de los análisis fisicoquímicos, de pigmentos, medidas *in situ*, microscopía óptica, toxinas y análisis moleculares como qPCR y secuenciación. Para analizar la presencia de las principales cianotoxinas (microcistina, anatoxina y saxitoxina) se utilizó la técnica de ELISA (“enzyme linked immunosorbent assay”). Si bien durante el muestreo realizado no se observó floración en ningún sitio, se detectó mayormente anatoxina-a, potente neurotoxina, aún más peligrosa que microcistina, por no presentarse en floraciones visualmente detectables.

En el sitio agrícola se observó una mayor densidad de cianobacterias, sin embargo, esto no se vio reflejado en una mayor producción de cianotoxinas. Se detectaron un total de ocho géneros y 13 especies de cianobacterias potencialmente tóxicas en las muestras de agua de todos los sitios de muestreo, siendo el monte nativo el que mayor número de especies presentó. Asimismo, en los sedimentos analizados también se detectaron cuatro especies de cianobacterias.

## CONSIDERACIONES FINALES

La búsqueda de un adecuado compromiso entre la producción de alimento, la conservación de los ecosistemas y la disponibilidad de agua adecuada para potabilización es de una importancia relevante. Esto implica asegurar la sostenibilidad ambiental de los sistemas de producción a través de prácticas de manejo que incluyan el cuidado y preservación de los recursos hídricos.



**Figura 4** - Muestreo en sitio forestal (A) y con ganadería extensiva en campo natural (B), Rincón del Bonete (enero 2021).



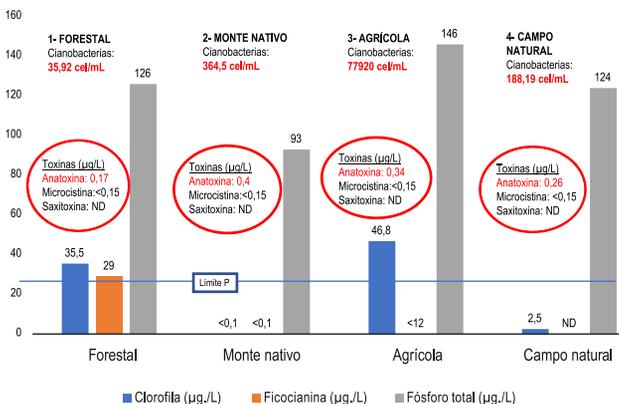
**Figura 5** - Muestreo en sitio agrícola (soja): desde el cultivo (A) hasta el agua (B), Rincón del Bonete (enero 2021).

A nivel nacional, la evaluación de calidad de agua se basa casi exclusivamente en propiedades fisicoquímicas, sin considerar bioindicadores o atributos ecosistémicos, que están incluidos desde hace décadas en normativas internacionales como la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea, 2000/60/CE (Unión Europea, 2000). Por tanto, es necesario generar conocimiento sobre presencia de cianotoxinas y cianobacterias productoras de toxinas en cursos de agua, embalses y tajamares, y alertar sobre sus efectos en la salud humana, animal y ambiental bajo el enfoque de “una sola salud”. Además, es necesario generar monitoreos ambientales de larga duración, y reforzar los ya existentes, tanto a nivel de cuencas hidrográficas como en establecimientos agropecuarios, que incluyan zonas no impactadas por la agricultura a modo de referencia y que brinden información de presencia de cianobacterias y de las toxinas generadas.

La eficacia de la gestión y manejo de los riesgos asociados a las floraciones tóxicas, así como la implementación de programas de monitoreo exitosos, depende de una evaluación precisa y adecuada del riesgo, de la disponibilidad de datos analíticos exactos, precisos y confiables, representativos de la situación real, así como del correcto planteo de los supuestos que subyacen para la conversión del resultado de un análisis en una estimación de riesgo potencial.

## REFERENCIAS

- 1 - Bonilla y colaboradores (2021). Las floraciones de cianobacterias tóxicas comprometen el uso del agua del Río Negro, Uruguay. *INNOTEC* 2021, No. 22/e557. ISSN 1688-6593
- 2 - Sergi Alcalde (2020). Una bacteria, responsable de la muerte masiva de elefantes en Botswana. Nota de National Geographic, España. [https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/bacteria-responsable-muerte-masiva-elefantes-botswana\\_15919](https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/bacteria-responsable-muerte-masiva-elefantes-botswana_15919)
- 3 - Ingrid Chorus & Martin Welker. Second Edition, 2021. *Toxic Cyanobacteria in Water. A Guide to their Public Health Consequences, Monitoring and Management*. CRC Press. World Health Organization.
- 4 - UNESCO (2009). *Cianobacterias planctónicas del Uruguay. Manual para la identificación y medidas de gestión*. Sylvia Bonilla (editora) Documento Técnico N° 16.
- 5 - Vidal y colaboradores (2017). Recreational Exposure during Algal Bloom in Carrasco Beach, Uruguay: A Liver Failure Case Report. *Toxins* 9, 267 [www.mdpi.com/journal/toxins](http://www.mdpi.com/journal/toxins)
- 6 - Dreher y colaboradores (2019). Anabaena/ Dolichospermum as the source of lethal microcystin levels responsible for a large cattle toxicosis event. *Toxicon* X1 100003
- 7 - Alonzo, P. y colaboradores (2009). Diagnóstico de intoxicación por algas verde- azuladas (cianobacterias) en Uruguay. XXXVII Jornadas de Buiatría, Uruguay.
- 8 - Brena y colaboradores (2021). Microcystin ELISA in water and animal serum for an integrates environmental monitoring strategy. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*



**Gráfico 1** - Análisis realizados para los sitios de muestreo con distinto uso de suelo.