



Foto: Iván González

Desafíos ambientales de la intensificación agropecuaria sobre los ecosistemas acuáticos y posibles estrategias de mitigación

Mariana Meerhoff¹, Iván González-Bergonzoni²

1. Departamento de Ecología y Gestión Ambiental, Centro Universitario Regional del Este, Universidad de la República, Maldonado, Uruguay.

2. Departamento de Ciencias Biológicas, Centro Universitario del Litoral, Universidad de la República, Paysandú, Uruguay.

El riego ha permitido expandir la frontera agrícola y aumentar la producción agropecuaria, a nivel mundial y nacional. Esta expansión tiene impactos positivos sobre la economía, y potencialmente también sobre la seguridad y soberanía alimentaria. En ese contexto, los ecosistemas de agua dulce pueden verse como infraestructura natural que sostiene la producción agropecuaria. El desafío yace en asegurar el riego para el sostén de la producción, a la vez de asegurar la disponibilidad de agua en calidad y cantidad suficiente para sostener los restantes servicios que brindan estos ecosistemas, tales como la disminución de la vulnerabilidad climática, provisión de agua para consumo, sostén para la biodiversidad acuática y terrestre; elementos esenciales a su vez, para asegurar la inocuidad de los alimentos generados por la producción agrícola con riego.

A nivel mundial está disminuyendo la cantidad de agua dulce superficial, tanto en ecosistemas acuáticos naturales

(lagos, lagunas, humedales) como en sistemas artificiales (embalses, represas), producto de la sobreextracción de agua y del cambio climático. Esta tendencia se suma al aumento en extensión geográfica, frecuencia y magnitud del proceso de eutrofización. La eutrofización es el proceso de enriquecimiento de nutrientes que genera una contaminación orgánica en los ecosistemas acuáticos que deteriora la calidad del agua, promoviendo condiciones de anoxia o hipoxia, mortandad de organismos, pérdida general de biodiversidad, y en particular la ocurrencia de floraciones de cianobacterias tóxicas que pueden provocar impactos serios sobre la salud animal y humana. El vínculo entre estos procesos y la intensificación agrícola es claro a nivel mundial (Gordon et al., 2008).

El Uruguay no es la excepción. En todas las cuencas mayores del país, los niveles de fósforo en el agua superan ampliamente los valores definidos por la normativa vigente hasta el año 2025 (Decreto 253/79; actualmente modificado Decreto 226/025) así como las recomendaciones generadas por la Mesa Técnica del Agua en años recientes (Fig. 1; Goyenola et al., 2021). Este aumento en la carga y concentración de fósforo en el agua se da incluso en cuencas clave para el país por su uso como fuente de agua potable, como la Cuenca del Río Uruguay, Río Santa

Lucía y la Laguna del Sauce en Maldonado (Chalar et al., 2013; González-Madina et al., 2022). Concomitantemente, las floraciones de cianobacterias tóxicas son cada vez más frecuentes y dispersas en todo el territorio nacional (Bonilla et al., 2015), ocurriendo tanto en ecosistemas naturales como en ecosistemas artificiales. Esto se observa desde los grandes embalses sobre el Río Negro hasta los tajamares de aguada para uso pecuario (Bonilla et al., 2021; Passadore-Romero et al., 2024, Zabaleta et al., 2023, 2025), desde donde las floraciones de cianobacterias pueden dispersarse y colonizar otros cursos y cuerpos de agua (Aubriot et al., 2020; Kruk et al., 2021). Asimismo, la detección de residuos de compuestos de uso fitosanitario se está haciendo más frecuente, tanto en agua como en sedimentos y en los tejidos de organismos acuáticos, incluyendo recursos pesqueros (Corrales et al., 2021; Griffero et al. 2019, Ernst et al., 2018, Comité Científico CARU 2021). En el caso de la biota en el Río Uruguay incluso se han superado valores de toxicidad aguda (Comité Científico CARU 2021).

El vínculo entre la intensidad agrícola y la eutrofización de las aguas superficiales, y en particular con la probabilidad de ocurrencia de cianobacterias, se ha evidenciado en numerosos estudios (Alcántara et al., 2022; Kruk et al., 2023). Otros factores, como la temperatura asociada al calentamiento climático, tienen una menor importancia en comparación (Bonilla et al., 2023). Los cuerpos de agua en zonas con mayor intensidad en el uso del suelo, además de tener mayores concentraciones de nutrientes en el agua, tienen una menor biodiversidad (Passadore-Romero et al.,

2024; Gobel et al., 2025). En los últimos 15 años el país ha sufrido cuatro grandes crisis hídricas, de las cuales tres fueron generadas por floraciones de cianobacterias afectando fuentes de agua potable (Montevideo 2013, Maldonado 2015) y la costa litoral y platense-atlántica (2019; Kruk et al., 2021), mientras que la última afectó toda la zona sur del Uruguay, tanto a nivel agronómico y de uso recreativo, como del acceso a agua potable a Montevideo y la zona Metropolitana (2022-2023). Las predicciones con el cambio climático son claras: es probable que las floraciones de cianobacterias (Moresco et al., 2024), así como las crisis hídricas, tanto de cantidad como de calidad, sean más frecuentes e intensas en las próximas décadas (Meerhoff et al., 2022).

Por todo ello, la intensificación productiva mediante la expansión del riego genera un desafío a la sustentabilidad de los recursos acuáticos. La buena noticia es que conocemos varias de las soluciones o estrategias tanto para usar el agua de la manera más eficiente posible como para permitir el sostén de la vida, además del sostén de la producción agrícola. Existen medidas para mitigar los impactos de la explotación de los ecosistemas acuáticos que han sido demostradas a nivel internacional y están siendo evaluadas a nivel nacional. Además de buenas prácticas agronómicas para minimizar la pérdida de suelo y disminuir la escorrentía superficial y subsuperficial de fertilizantes y otros agroquímicos, es vital generar conocimiento sobre los caudales ecológicos previstos en la Ley de Riego (i.e., asegurar la cantidad de agua mínima necesaria para sostener la vida en los ecosistemas). Sabemos que mantener, restaurar, o crear zonas y franjas con vegetación ribereña nativa (zona buffer, Calvo et al., 2024), así como planear el diseño y manejo de los embalses y tajamares simultáneamente con criterios productivos y criterios ambientales aumenta la resiliencia de los ecosistemas frente a los impactos de la intensificación, así como frente a la mayor variabilidad climática.

Estas medidas pueden no sólo reducir impactos ambientales negativos, sino que pueden mejorar la eficiencia en el uso del agua y disminuir las pérdidas de insumos y la erosión del suelo. El desafío actual es lograr combinar la innovación agronómica con la comprensión ecológica, para que Uruguay pueda transitar hacia una producción agrícola con riego y mantener ecosistemas de agua dulce saludables.

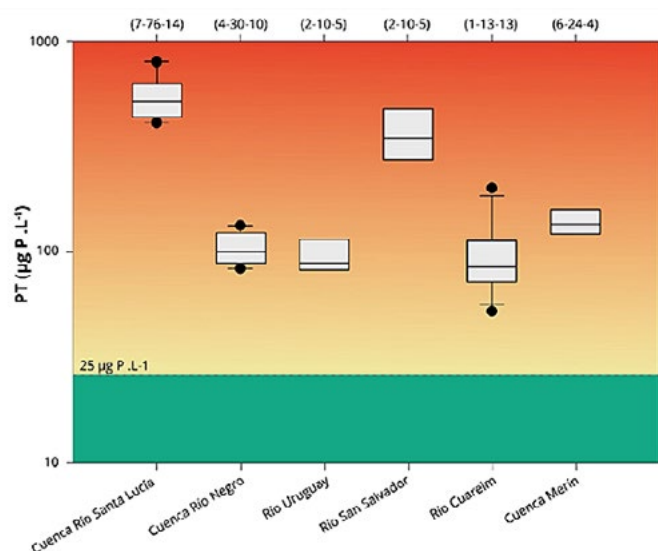


Figura 1. Niveles de fósforo total (PT) en agua para diferentes ecosistemas de aguas corrientes de Uruguay, de acuerdo con los datos abiertos del Observatorio Ambiental Nacional (Ministerio de Ambiente, 2020). Nótese la escala logarítmica en el eje de las ordenadas. La línea sobre el sector verde marca el límite tolerable según la normativa vigente. Cajas: primer, segundo y tercer cuartil; bigotes: primer y noveno decil; puntos negros: *outliers*. Sobre el eje superior se muestra el número de estaciones de muestreo, el número de datos anuales disponibles, y la mayor extensión en años de cada set de datos. Figura publicada en Goyenola et al. (2021).

Bibliografía

Alcántara, I.; Somma, A.; Chalar, G.; Fabre, A.; Segura, A.; ... & García Rodríguez, F. (2022). A reply to "Relevant factors in the eutrophication of the Uruguay River and the Río Negro". *Science of the Total Environment*, 151854.

Aubriot, L.; Zabaleta, B.; Bordet, F.; Sienra, D.; Risso, J.; Achkar, M.; & Somma, A. (2020). Assessing the origin of a massive cyanobacterial bloom in the Río de la Plata (2019): Towards an early warning system. *Water Research*, 181, 115944.

Bonilla, S.; Haakonsson, S.; Somma, A.; Gravier, A.; Britos, A.; Vidal, L.; De León, L.; Brena, B., M.; Pirez, M.; Piccini, C.; Martínez de la Escalera, G.; Chalar, G.; González-Piana, M.; Martigani, F. & Aubriot, L. (2015). Cianobacterias y cianotoxinas en ecosistemas límnicos de Uruguay. *Innotec*, 10, 9-22.

Bonilla, S.; Aubriot, L.; Haakonsson, S.; Illarze, M.; Díaz, I.; & Brena, B. (2021). Las floraciones de cianobacterias tóxicas comprometen el uso del agua del Río Negro, Uruguay. *Innotec* (22).

Bonilla, S.; Aguilera, A.; Aubriot, L.; Huszar, V.; Almanza, V.; Haakonsson, S.; ... & Antoniadis, D. (2023). Nutrients and not temperature are the key drivers for cyanobacterial biomass in the Americas. *Harmful Algae*, 121, 102367.

Calvo, C.; Rodríguez-Gallego, L.; de León, G.; Cabrera-Lamanna, L.; Castagna, A.; Costa, S.; González, L. & Meerhoff, M. (2024). Potential of different buffer zones as nature-based solutions to mitigate agricultural runoff nutrients in the subtropics. *Ecological Engineering*.

Corrales, N., Meerhoff, M. & Antoniadis, D. (2021). Glyphosate-based herbicide exposure affects community development in natural biofilm. *Environmental Pollution* 284, 117354.

Comite Científico CARU, 2021. Plan de Monitoreo Integral del Río Uruguay para todo el tramo compartido. Subprograma 1: Monitoreo de la calidad de agua, sedimento y biota en el río Uruguay. Informe diciembre de 2018 a diciembre de 2019, p. 441.

Chalar, G., Delbene, L., González-Bergonzoni, I., & Aroca, R. (2013). Fish assemblage changes along a trophic gradient induced by agricultural activities (Santa Lucía, Uruguay). *Ecological Indicators*, 24, 582-588.

Ernst, F., Alonso, B., Colazzo, M., Pareja, L., Cesio, V., & Perez-Parada, A. (2018). Occurrence of pesticide residues in fish from south American rainfed agroecosystems. *Science of the Total Environment*, 631, 169-179.

Gobel N., G. Laufer, M. Arim & I. González-Bergonzoni. (2025). Response of Pond Food Webs to Anthropogenic Habitat Degradation. *Freshwater Biology* 70 (8), e70088

González-Madina, L., Levrini, P., de Tezanos Pinto, P., Burwood, M., Crisci, C., Cardozo, A., ... & Mazzeo, N. (2022). Blooms of toxic *Raphidiopsis raciborskii* in Laguna del Sauce (Uruguay): environmental drivers and impacts. *Hydrobiologia*, 849(17), 4041-4058.

Gordon, L. J., Peterson, G. D., & Bennett, E. M. (2008). Agricultural modifications of hydrological flows create ecological surprises. *Trends in Ecology & Evolution*, 23(4), 211-219.

Goyenola G., C. Kruk, A. Nario, N. Mazzeo, C. Perdomo, C. Piccini & M. Meerhoff. (2021). Producción, nutrientes, eutrofización y cianobacterias en Uruguay: armando el rompecabezas. *Innotec*.

Griffero, L., Alcántara-Duran, J., Alonso, C., Rodríguez-Gallego, L., Moreno-Gonzalez, D., García-Reyes, J. F., ... & Perez-Parada, A. (2019). Basin-scale monitoring and risk assessment of emerging contaminants in South American Atlantic coastal lagoons. *Science of the Total Environment*, 697, 134058.

Kruk, C., Martínez, A., de la Escalera, G. M., Trinchin, R., Manta, G., Segura, A. M., ... & Calliari, D. (2021). Rapid freshwater discharge on the coastal ocean as a mean of long distance spreading of an unprecedented toxic cyanobacteria bloom. *Science of The Total Environment*, 754, 142362.

Kruk, C., Segura, A., Piñeiro, G., Baldassini, P., Pérez-Becoña, L., García-Rodríguez, F., ... & Piccini, C. (2023). Rise of toxic cyanobacterial blooms is promoted by agricultural intensification in the basin of a large subtropical river of South America. *Global Change Biology*, 29(7), 1774-1790.

Meerhoff, M., J. Audet, T. A. Davidson, L. De Meester, S. Hilt, S. & Jeppesen, E. (2022). Feedbacks between climate change and eutrophication: revisiting the allied attack concept and how to strike back. *Inland Waters*.

Moresco, G.A., J. D. Dias, L. Cabrera-Lamanna, C. Baladán, M. Bižić, L. C. Rodrigues & M. Meerhoff. (2024). Experimental warming promotes phytoplankton species sorting towards cyanobacterial blooms and leads to potential changes in ecosystem functioning. *Science of the Total Environment*.

Passadore-Romero, C., Gobel N., Colina M., Calvo C., Canavero A., Carballo C., Cuassolo F., Gallo L., Guerra E.G., Heber E., Lacerot G., Laufer G., López-Rodríguez A., Pais J., Rodríguez-Tricot L., Sosa-Panzer L., Teixeira-de-Mello F., Arim M., González-Bergonzoni I & Meerhoff, M. (2024). Tajamares y Paisajes de tajamares en Uruguay. Universidad de la República.

Zabaleta, B., Aubriot, L., Olano, H., & Achkar, M. (2023). Satellite assessment of eutrophication hot spots and algal blooms in small and medium-sized productive reservoirs in Uruguay's main drinking water basin. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(15), 43604-43618.

Zabaleta, B., Achkar, M., & Aubriot, L. (2025). Geographic variation in the potential transport of cyanobacterial blooms to the main water utility of Uruguay. *Inland Waters*.