

INFLUENCIA DE EVENTOS EXTREMOS DE TEMPERATURA EN EL AUMENTO DE FLORACIONES DE CIANOBACTERIAS NOCIVAS EN EMBALSES SUBTROPICALES

Haakonsson, S¹., Montesino Y.², Renom, M.², Aubriot, L¹.

shaakonsson@fcien.edu.uy.

¹Grupo de Fisiología y Ecología de Fitoplancton, Sección Limnología, Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

²Departamento de la Atmósfera y Física de los Océanos, Instituto de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

Palabras claves: Variabilidad interanual, veranos cálidos, modelos predictivos

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se ha reportado un aumento en la frecuencia de floraciones de cianobacterias nocivas. Las mismas ocurren en general en ecosistemas acuáticos con alta carga de nutrientes (eutrofizados), durante períodos cálidos y con alta estabilidad de la columna del agua (Bormans et al., 1997; Rolland et al., 2013). Condiciones que también ocurren durante las olas de calor en verano. La dinámica de las floraciones puede presentar una alta variabilidad interanual tanto en ocurrencia como en biomasa, a veces explicado por patrones de la hidrodinámica y el clima (Chapra et al., 2017). Sin embargo, faltan estudios que evalúen el efecto de la variabilidad interanual de la temperatura sobre el desarrollo de floraciones en ecosistemas subtropicales. Investigamos la dinámica interanual de floraciones de cianobacterias potencialmente tóxicas en dos embalses subtropicales. Los objetivos fueron: 1) Determinar la relación entre la dinámica de floraciones de cianobacterias y los eventos extremos cálidos de temperatura del aire 2) Estimar la probabilidad de ocurrencia de floraciones según la temperatura máxima del aire y el nivel de agua de los embalses.

2. METODOLOGÍA

Los embalses, Rincón del Bonete (BON) (superficie: 1070 km²; profundidad máxima aprox.: 25 m), y Palmar (PAL) (superficie: 320 km²; profundidad máxima aprox.: 30 m), fueron construidos entre 1945 y 1982 para la generación hidroeléctrica, pero también brindan otros servicios ecosistémicos, como turismo, abastecimiento de agua potable (para humanos y animales), riego y pesca (recreativa y comercial).

Utilizamos el visualizador desarrollado por el Ministerio de Ambiente Uruguay (<https://observatorioan.users.earthengine.app/view/visualizador-floraciones-dinacea>) para identificar las floraciones de cianobacterias durante seis años (2017–2023). Para analizar la climatología e identificar olas de calor (OCs), utilizamos cuatro conjuntos de datos derivados del Instituto Uruguayo de Meteorología (Fig. 1, triángulos). Los días cálidos se definieron como aquellos en los que la temperatura máxima del aire superó el percentil 90 correspondiente al día del año, calculado mediante una ventana móvil de 5 días centrada en el día de interés. Las olas de calor (OCs) se identificaron como períodos de tres o más días consecutivos en los que tanto las temperaturas máximas como mínimas superaron sus respectivos percentiles 90 diarios (Rusticucci et al., 2016).

Se desarrollaron dos modelos logísticos Bayesianos para predecir la probabilidad de ocurrencia de floraciones: uno según la temperatura del aire y nivel de agua de los embalses y otro según los eventos de ola de calor. Los modelos se corrieron utilizando el paquete de R brms (Burkner, 2017). Los ajustes y convergencias de los modelos fueron evaluados siguiendo Gelman et al. (2014) y McElreath (2020).

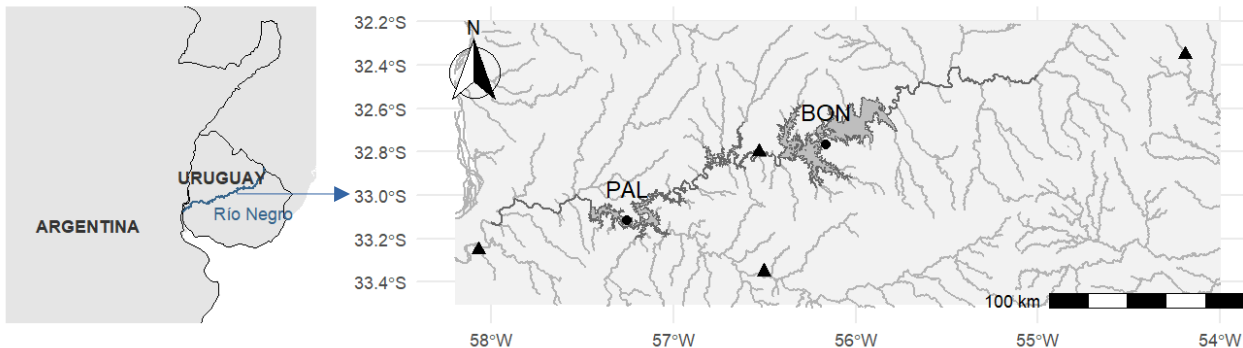


Figura 1. Los dos embalses hidroeléctricos sobre el Río Negro (Uruguay). PAL: Embalse de Palmar; BON: Embalse de Rincón del Bonete

3. RESULTADOS

Durante los seis años de estudio se registraron un total de 231 floraciones en los dos embalses del río Negro, las que ocurrieron entre diciembre y mayo. La frecuencia de floraciones (proporción de floraciones/registros totales entre diciembre y mayo) varió ampliamente entre años (0.04–0.91), pero con patrones anuales generales similares entre ambos embalses (Fig. 2). Se observó una mayor frecuencia de floraciones en los períodos donde se determinaron el mayor número de días cálidos (máximo mayor al percentil 90 diario) (Fig. 2). Los resultados del primer modelo indican que tanto la temperatura máxima del aire como los niveles de agua son predictores de la ocurrencia de floraciones de cianobacterias. En general, la ocurrencia de floraciones es más probable a bajo nivel del agua de los embalses y en períodos con temperaturas altas. Sin embargo, en el embalse más eutrofizado (PAL), el efecto del aumento de la temperatura fue limitado bajo condiciones de bajo nivel del agua (Fig. 3), y la probabilidad de floración se mantuvo alta (>0.50) a lo largo de todo el rango de temperatura (Fig. 3). Se registraron 12 olas de calor, en las cuales se observó una mayor frecuencia de floraciones. A pesar de que el efecto de las olas de calor fue positivo, no fue posible aislar estadísticamente su efecto del de los años con mayor cantidad de días cálidos, debido a que estos coincidieron temporalmente.

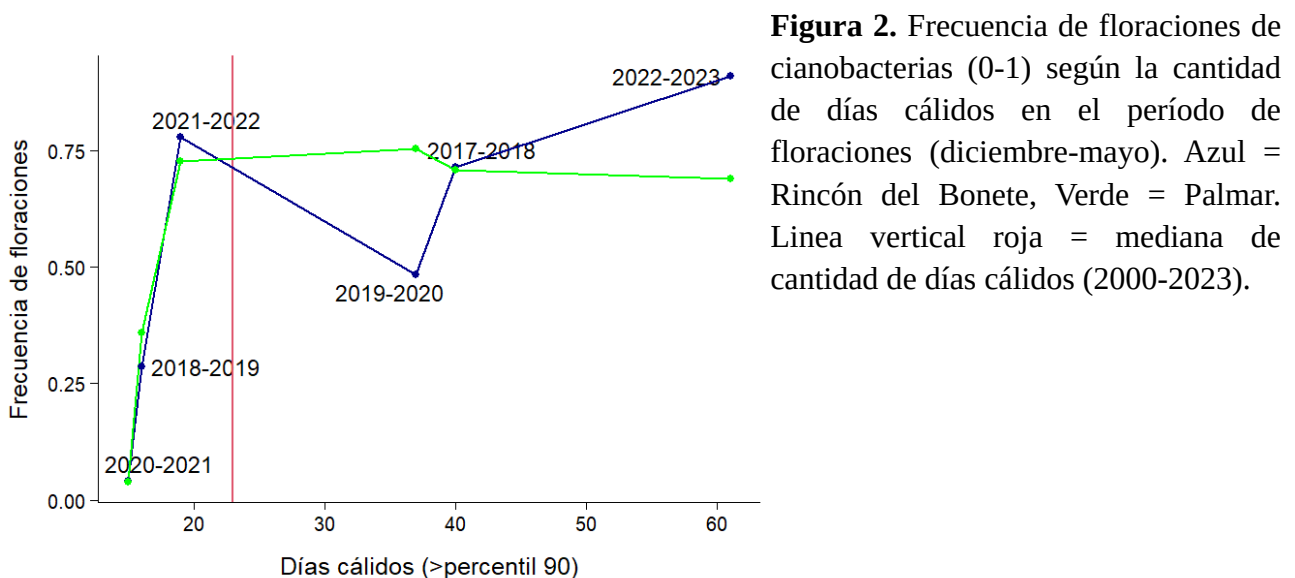


Figura 2. Frecuencia de floraciones de cianobacterias (0-1) según la cantidad de días cálidos en el período de floraciones (diciembre-mayo). Azul = Rincón del Bonete, Verde = Palmar. Línea vertical roja = mediana de cantidad de días cálidos (2000-2023).

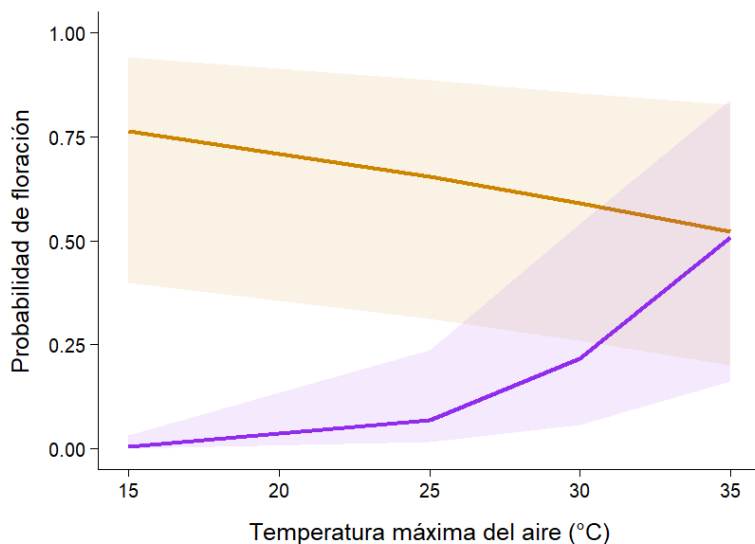


Figura 3. Probabilidad de floración de cianobacterias en el embalse de Palmar a un nivel del agua (cota) bajo (<Percentil 10, naranja) y alto (>Percentil 90, violeta) según la temperatura máxima del aire.

4. CONCLUSIONES

Los resultados muestran que las variaciones interanuales de la temperatura máxima impactan notablemente en la dinámica de las floraciones en embalses con clima subtropical húmedo. En la región aún no

se han reportado estudios que vinculen los veranos extremadamente cálidos y las olas de calor con un aumento en la frecuencia de floraciones de cianobacterias.

La respuesta a los efectos de las temperaturas elevadas varía en función del estado trófico y el nivel del agua de los embalses. Este trabajo sugiere que se requerirá de una reducción más exigente de los niveles de nutrientes en los embalses subtropicales para compensar el efecto del aumento sostenido de la temperatura y de la frecuencia de las olas de calor.

REFERENCIAS

- Bormans, M., Maier, H., Burch, M., Baker, P. (1997).** Temperature stratification in the lower River Murray, Australia: Implication for cyanobacterial bloom development. *Marine and Freshwater Research*, 48(6), 647–654. <https://doi.org/10.1071/MF97022>
- Bürkner, P. C. (2017).** *brms: An R package for Bayesian multilevel models using Stan*. *Journal of Statistical Software*, 80(1), 1–28. <https://doi.org/10.18637/jss.v080.i01>
- Chapra, S. C., Boehlert, B., Fant, C. W., Bierman, V. J., Henderson, J., Mills, D., Mas, D., Rennels, L., Jantarasami, L., Martinich, J., Strzepek, K., Paerl, H. W. (2017).** Climate change impacts on harmful algal blooms in U.S. freshwater: A screening-level assessment. *Environmental Science & Technology*, 51(16), 8933–8943. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b01498>
- Gelman, A., Carlin, J. B., Stern, H. S., Dunson, D. B., Vehtari, A., Rubin, D. B. (2014).** *Bayesian data analysis* (3rd ed.). CRC Press.
- McElreath, R. (2017).** *Statistical rethinking: A Bayesian course with examples in R and Stan* (2nd ed.). CRC Press.
- Rolland, D. C., Bourget, S., Warren, A., Laurion, I., Vincent, W. F. (2013).** Extreme variability of cyanobacterial blooms in an urban drinking water supply. *Journal of Plankton Research*, 35(3), 744–758. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbt028>
- Rusticucci, M., Kyselý, J., Almeida, G., Lhotka, O. (2016).** Long-term variability of heat waves in Argentina and recurrence probability of the severe 2008 heat wave in Buenos Aires. *Theoretical and Applied Climatology*, 124(3–4), 679–689. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1445-7>