

PEDECIBA- BIOLOGÍA
Nombre del curso
CIANOBACTERIAS Y EUTROFIZACIÓN

Posgrados en Ciencias Ambientales – Facultad de Ciencias (FC) – UDELAR

Docente a cargo: Luis Aubriot (FC)

Correo: laubriot@fcien.edu.uy

Docentes practicantes: Elena Fukasawa Galvanese (FC), Signe Haakonsson (FC), Sylvia Bonilla (FC), Lucila González (FC), Guillermo Goyenola (CURE), Matías Victoria (CENUR), Pablo Gamazo (CNUR). Invitados: Bernardo Zabaleta (UTEC), Federico Quintans (Ministerio de Ambiente).

Carga horaria- Docencia Directa: 48 h

Carga horaria- Horas de Estudio: 12 h

Días y horarios sugeridos: martes, jueves y viernes. Del 6 de octubre al 17 de noviembre de 2026. Horario de 13:00 a 15:00 h

Modalidad: Presencial

Programa

INTRODUCCIÓN:

Las floraciones de cianobacterias en ecosistemas acuáticos continentales se han intensificado en las últimas décadas, impulsadas por la combinación de la eutrofización de origen antrópico y la aceleración del cambio climático. El aporte excesivo de nutrientes — especialmente nitrógeno y fósforo— desde las cuencas agrícolas, urbanas e industriales, altera los ciclos biogeoquímicos en lagos, embalses y cursos de agua. En algunos casos estas alteraciones favorecen el crecimiento explosivo de cianobacterias potencialmente tóxicas. A esto se suma un conjunto de factores climáticos que pueden contribuir a la persistencia y severidad del fenómeno: el aumento de la temperatura, la mayor frecuencia de olas de calor, la intensificación de las sequías y la ocurrencia de precipitaciones extremas que modifican los pulsos hidrológicos y la dinámica de mezcla en los cuerpos de agua. Estos cambios alteran la estabilidad de la columna de agua, los tiempos de residencia, la disponibilidad de nutrientes, condicionando la prevalencia de cianobacterias en muchos sistemas.

En este contexto, comprender los mecanismos ecofisiológicos y ambientales que determinan la ocurrencia, mantenimiento y colapso de las floraciones resulta fundamental para su evaluación y gestión. El curso teórico-práctico aborda los principales factores ambientales que regulan el crecimiento de cianobacterias, su ecofisiología y la relación con los ciclos biogeoquímicos de nutrientes clave y las aproximaciones diagnósticas utilizadas para evaluar el estado trófico de un ecosistema. En las clases prácticas se realizarán ensayos de crecimiento con cianobacterias en el laboratorio bajo diferentes condiciones de temperatura

y nutrientes (limitación y suficiencia), y se analizarán diseños experimentales para el trabajo con cultivos y con muestras naturales de lagos. Se aplicarán metodologías de muestreo en lagos con floraciones, análisis al microscopio de muestras e identificación taxonómica, uso de fluorómetros multiespectrales sumergibles y de mesada, análisis de actividad fotosintética (modulación de amplitud de pulso para fitoplancton Phyto PAM). Además, se introducirán herramientas de monitoreo in situ (boyas y cámaras multiespectrales) y remoto (teledetección), actualmente fundamentales para los sistemas de alerta temprana. Se discutirán estrategias de mitigación desde dos escalas complementarias: la reducción de cargas de nutrientes a nivel de cuenca, incluyendo enfoques de modelación, y la aplicación de metodologías *in-lake*, con un análisis crítico de sus resultados. El curso será dictado por docentes de Facultad de Ciencias, CURE-Maldonado, CENUR-Salto, e invitados de UTEC y Ministerio de Ambiente.

OBJETIVOS:

Proporcionar conocimientos teórico-prácticos sobre las bases ecofisiológicas que permitan comprender la ocurrencia de las floraciones de cianobacterias, su persistencia en el ambiente y su posible mitigación. Comprender cómo el aumento de la temperatura, la variabilidad hidrológica y la eutrofización favorecen a las floraciones de cianobacterias, actuando por separado y de forma combinada. Asimismo, se analizarán las estrategias actuales para el monitoreo de floraciones y las alternativas para su mitigación. El curso está enfocado principalmente en ecosistemas continentales de Uruguay e incluye el análisis de estudios de caso locales y regionales.

CONTENIDO:

1. **Introducción (clase 1).** Generalidades y dinámica del curso. Cianobacterias, origen, diversidad, distribución, toxinas, tendencias globales. Procesos abióticos y bióticos que regulan el crecimiento. Eutrofización. Índices, modelos.
 2. **Factores que regulan el crecimiento (clases 2-8).** Ciclos biogeoquímicos de nutrientes en agua y sedimentos. Nutriente limitante, aproximaciones estadísticas y empíricas. Metabolismo del fósforo. Vías de captación de P inorgánico, cinéticas, modelos. Adaptaciones fisiológicas, aclimatación, ajustes. Niveles umbrales de P. Metodologías. P orgánico. Formas y captación. Metodologías. Vías de captación de N inorgánico (asimilación, fijación), cinéticas, modelos. Adaptaciones, aclimatación, ajustes. Metodologías. Modelación. Temperatura y luz. Fotosíntesis, pigmentos, actividad fotosintética. Interacciones interespecíficas. Modelación. Efectos de la variabilidad climática y eutrofización. Series temporales. Modelación
 3. **Proyectos (clase 9).** Diseños experimentales. Presentación de proyectos por grupo de trabajo.
-

4. **Salida de campo e inicio de ensayos (clase 10).** Lagos de Canelones: Muestreo embarcado. Uso de sondas fluorométricas. Mañana y tarde. Preparación e inicio de los ensayos con muestras naturales y cultivos de cianobacterias.
5. **Práctico (clases 11-14).** Mediciones de crecimiento (no invasivo), pigmentos y actividad fotosintética. Actividad fosfatasa. Incorporación de nutrientes. Identificación taxonómica. Análisis y discusión de resultados. Parcial.
6. **Evaluación y diagnóstico (clases 15-16).** Metodologías de monitoreo in situ, en tiempo real, remoto. Principios de fluorimetría y óptica acuáticas. Toxinas, niveles guía, normativas. Teledetección de eutrofización y floraciones. Bases teóricas, enfoques prácticos, limitaciones, algoritmos. Análisis geoestadísticos.
7. **Mitigación de eutrofización y control de floraciones (clases 17-18).** Diagnóstico de la eutrofización en UY: herramientas de monitoreo y diagnóstico actuales y estado de situación. Modelos de cuenca: qué información brindan y qué datos necesitan. Mitigación de eutrofización: enfoques de cuenca y metodologías *in-lake*. Métodos emergentes: Cianófagos.
8. **Seminarios (clase 19).** Se expondrán los resultados de cada grupo. Discusión general de los resultados e implicancias. Evaluación del curso.

APROBACIÓN DEL CURSO

Asistencia en el 80% de las clases.

Seminario (40%).

Examen parcial (60%).

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA:

- Aubriot, L., 2019. Nitrogen availability facilitates phosphorus acquisition by bloom-forming cyanobacteria. *FEMS Microbiol. Ecol.* 95. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiy229>
- Aubriot, L., Bonilla, S., Falkner, G., 2011. Adaptive phosphate uptake behaviour of phytoplankton to environmental phosphate fluctuations. *FEMS Microbiol. Ecol.* 77, 1–16. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2011.01078.x>
- Aubriot, L., Clivio, F., Somma, A., Galvanese, E., Colombo, S., Haakonsson, S., 2025. Control of cyanobacterial blooms with iron addition can favor stress-tolerant toxic species. *Harmful Algae* 142, 102784. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2024.102784>
- 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 Res.* 181, 115944. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115944>
- Bonilla, S., Aguilera, A., Aubriot, L., Huszar, V., Almanza, V., Haakonsson, S., Izaguirre, I., O'Farrell, I., Salazar, A., Becker, V., Cremella, B., Ferragut, C., Hernandez, E., Palacio, H.,
-

- Rodrigues, L.C., Silva, L.H.S. da, Santana, L.M., Santos, J., Somma, A., Ortega, L., Antoniadis, D., 2023. Nutrients and not temperature are the key drivers for cyanobacterial biomass in the Americas. *Harmful Algae* 121, 102367. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2022.102367>
- 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* núm. 22, e577. <https://doi.org/10.26461/22.08>
- Bonilla, S., Aubriot, L., Soares, M.C.S., González-Piana, M., Fabre, A., Huszar, V.L.M., Lürling, M., Antoniadis, D., Padisák, J., Kruk, C., 2012. What drives the distribution of the bloom-forming cyanobacteria *Planktothrix agardhii* and *Cylindrospermopsis raciborskii*? *FEMS Microbiol. Ecol.* 79, 594–607. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2011.01242.x>
- Chorus, I., 2021. Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management. Taylor & Francis, Erscheinungsort nicht ermittelbar.
- Chorus, I., Welker, M., 2021. Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1201/9781003081449>
- Haakanson, S., Montesino, Y., Renom, M., Aubriot, L., 2025. Extreme temperatures increase the frequency of cyanobacterial blooms in subtropical reservoirs. *Sci. Total Environ.* 1009, 181086. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.181086>
- Pinotti, G., Gaucher, L., Fleitas, V., Boccardi, L., Goyenola, G., 2025. Aluminum compounds as a management tool for Eutrophic Lakes: State of the art. *Ecol. Eng.* 212, 107503. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107503>
- Whitton, B.A., 2012. The ecology of cyanobacteria II, 2nd ed. Kluwer Academic Publishers.
- Xiao, M., Burford, M.A., Prentice, M.J., Galvanese, E.F., Chuang, A., Hamilton, D.P., 2023. Phosphorus storage and utilization strategies of two bloom-forming freshwater cyanobacteria. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 290, 20231204. <https://doi.org/10.1098/rspb.2023.1204>
- Xiao, M., Burford, M.A., Wood, S.A., Aubriot, L., Ibelings, B.W., Prentice, M.J., Galvanese, E.F., Harris, T.D., Hamilton, D.P., 2022. Schindler's legacy: from eutrophic lakes to the phosphorus utilization strategies of cyanobacteria. *FEMS Microbiol. Rev.* <https://doi.org/10.1093/femsre/fuac029>
- Zabaleta, B., Aubriot, L., Olano, H., Achkar, M., 2023a. Satellite assessment of eutrophication hot spots and algal blooms in small and medium-sized productive reservoirs in Uruguay's main drinking water basin. *Environ. Sci. Pollut. Res.* <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25334-9>
- Zabaleta, B., Haakonsson, S., Achkar, M., Aubriot, L., 2023b. High-frequency zones of phytoplankton blooms in the Río de la Plata Estuary associated with El Niño-Southern Oscillation. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 108342. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108342>
-