



Editorial

HydroMet: La primera boya automática perfiladora con alta-frecuencia en el Lago Titicaca, el más alto de los Grandes Lagos del mundo

HydroMet: The first automatic high-frequency profiling buoy on Titicaca Lake, the highest of the Large Lakes of the world

Xavier Lazzaro^{1,3,4*}, Darío Achá Cordero², Viviana Cruz Hernández³, Jhasmin Duarte Tejerina⁴, Mishel Justiniano Ayllón⁴, Gustavo Lanza Aguilar³, Javier Maldonado Alfaro⁴, Carlos Molina Arzabe², Javier Nuñez Villalba⁴, Marcela Ormachea Rojas⁴ & Pierre Sterling⁵

¹Institut de Recherche pour le Développement, Biologie des Organismes et des Ecosystèmes Aquatiques, 61 rue Buffon, Paris, Francia

²Unidad de Ecología Acuática, Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés, Campus Universitario de Cota Cota, Casilla 10077 – Correo Central, La Paz, Bolivia

³Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés, c/ 27 de Cota Cota y Av. Andrés Bello, Campus Universitario, La Paz, Bolivia

⁴Instituto de Investigaciones Geográficas, Universidad Mayor de San Andrés, Campus Universitario de Cota Cota, La Paz, Bolivia

⁵YSI Incorporated (Yellow Springs Instruments), 1700/1725 Brannum Lane, Yellow Springs, Ohio 45387-1107, USA.

*Autor de correspondencia: xavier.lazzaro@ird.fr

La primera floración de fitoplancton en el Lago Menor del Titicaca se documentó entre abril y mayo de 2015; fue responsable de la muerte masiva de peces, ranas y aves acuáticas, inducida por una época de lluvia inusualmente larga (Achá *et al.* 2018). Además de la transición entre macrófitas emergentes (*Totora*) y macroalgas sumergidas (del género *Chara*) a lo largo del gradiente de eutrofización en la bahía Cohana, son evidencias de que sigue el paradigma ecológico ampliamente demostrado para los lagos poco profundos (inferior a la de la zona eufótica del fitoplancton, o sea hasta 1% de la radiación visible sub-superficial). De hecho, hoy no queda duda de que en lagos poco profundos se pueden encontrar por lo menos dos estados estables alternativos: uno claro dominado por plantas acuáticas y otro turbio dominado por fitoplancton. Una intensa perturbación puede inducir un cambio brusco de un estado al otro (Scheffer *et al.* 1993). El reto es que tanto el punto de inflexión como la trayectoria hacia el nuevo estado son típicamente poco previsibles.

Este comportamiento ecológico no lineal, debido a la imprevisibilidad, así como la frecuencia de reproducción de los organismos del fitoplancton (horas a días), justifican implementar un monitoreo automático con alta frecuencia (AHFM o Automatic High Frequency Monitoring, por su sigla en inglés) capaz de alimentar un observatorio científico ambiental. Al combinar un observatorio con un

monitoreo de este tipo se proporcionan permanentemente y a largo plazo datos de alta calidad, actualizados en tiempo real para poder identificar tendencias y anticipar los eventos extremos.

Para 2019-2021 nuestra propuesta - fruto de la cooperación científica entre investigadores de los Institutos de Ecología y de Investigaciones Geográficas de la Universidad Mayor de San Andrés y del Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo - fue seleccionada por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo / Fondo Mundial para el Medio Ambiente, como el proyecto piloto 05-B-05 “Observatorio permanente del Lago Titicaca”. Representa uno de los cinco proyectos piloto bolivianos del proyecto binacional “Gestión Integral de Recursos Hídricos del sistema Titicaca, Desaguadero, Poopó y Salar de Coipasa” (<https://girh-tdps.com/proyecto-piloto-05/>).

El Lago Menor del Titicaca y la bahía de Puno en el Perú son las dos regiones más vulnerables frente al intenso cambio climático y la contaminación proveniente de la creciente urbanización. Hasta 2019 no se contaba con ningún monitoreo permanente para detectar tendencias, prevenir episodios e identificar zonas de deterioro en la calidad de agua. Para suplir esta carencia y en el ámbito de nuestro proyecto piloto, el 28 de junio 2019 desplegamos

la primera boya hidro-meteorológica (HydroMet) automática perfiladora de alta frecuencia (Fig. 1) del Lago Titicaca que transmite datos valiosos de forma remota en tiempo casi real. Su estación meteorológica registra datos con frecuencia de 5 min, en cuanto su sonda multiparamétrica sumergida registra datos con frecuencia de 30 min a 1 m de profundidad y dos horas a cada metro a lo largo de perfiles verticales. Está instalada en la región noreste del Lago Menor, concretamente 4 km al sur de Huatajata y 10 km al oeste de Puerto Pérez sobre el exlecho del brazo norte del río Katari, situado a 11 m de profundidad y que conecta la bahía de Cumana con la Fosa de Chúa (Fig. 2). Esta región es la más poblada, directamente impactada por la descarga de aguas residuales provenientes de la región urbana de El Alto, mediante la cuenca del río Katari.

Por ello, monitorear para lograr propósitos de documentación científica y definición de planes de remediación adecuados es muy valioso pues se pretende entender la progresión de la eutrofización (o sea el incremento de la biomasa del fitoplancton generado por aportes excesivos de nutrientes, nitrógeno y/o fosforo, y materia orgánica) en el Lago Menor del Titicaca, definir puntos de inflexión en la variación de los parámetros y detectar cambios para predecir las floraciones masivas del fitoplancton. En este proceso se incorporan varios actores,

pues los científicos evalúan el estado ecológico del Lago y esa información fundamenta la elaboración de planes de remediación adecuados, mientras que los organismos gubernamentales y las empresas privadas suelen aplicar planes de monitoreo basados en muestreos semanales o usualmente mensuales de las variables físicas, químicas y biológicas pertinentes.

En el caso del Lago Titicaca, con esta boya se provee de un observatorio ambiental que suple la carencia de datos permanentes a largo plazo frente al incremento de la contaminación en un contexto del intenso cambio climático. Con los datos y conocimientos generados, incluida la experiencia adquirida, se pretende instaurar el seguimiento apropiado al ecosistema. Para analizar el nivel de eutrofización y los factores de control de las floraciones, mediante esta boya se evaluará la dinámica de gradientes verticales diarios en oxígeno disuelto, temperatura, materia orgánica y clorofila-*a*, afectados por las condiciones meteorológicas (temperatura, humedad, precipitaciones, radiación solar, viento) y las aguas de los ríos Sehuena y Katari, mediante el río Cohana y la laguna Cumana, que se descargan durante el período lluvioso. Su principal función es registrar los cambios fisicoquímicos y biológicos que ocurren en el Lago y su relación con otras variables climáticas y actividades antrópicas.



Figura 1. Localización de los equipos y parámetros medidos por la boya HydroMet.

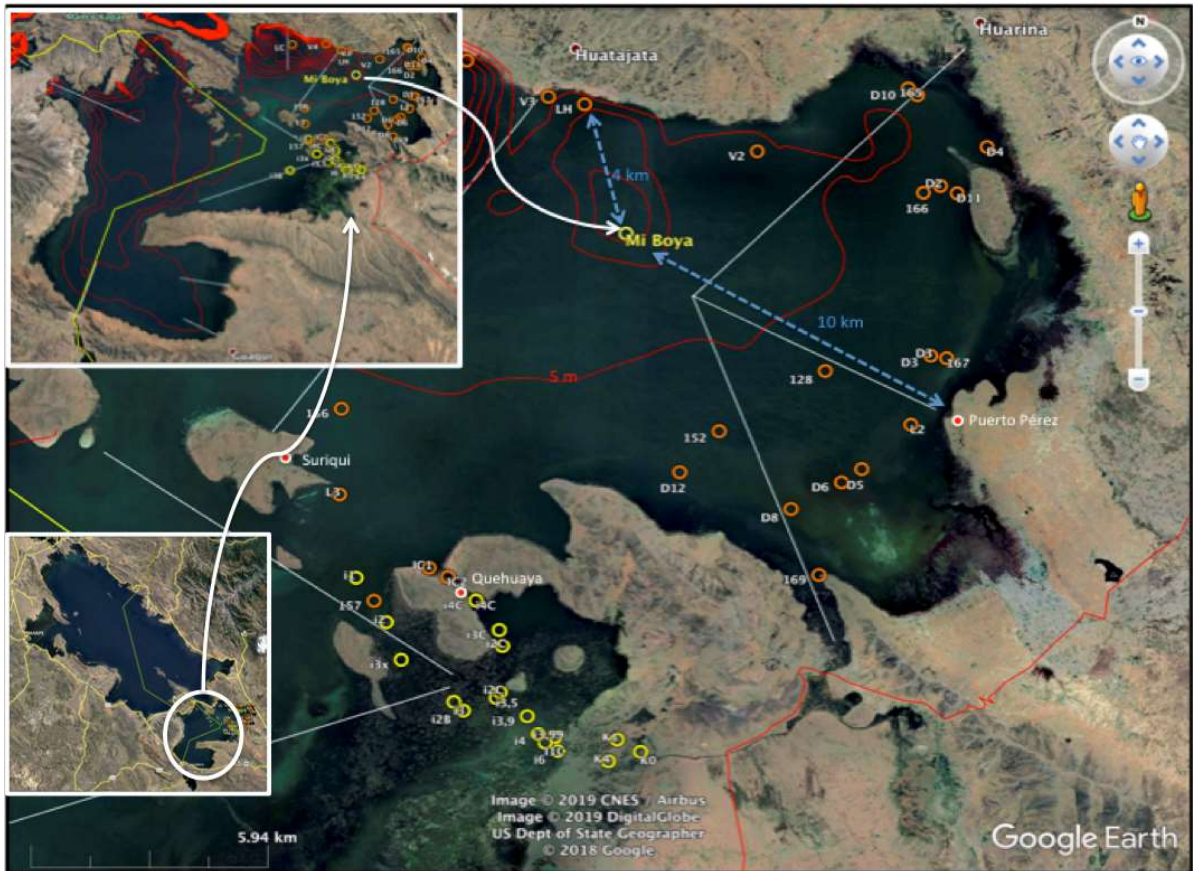


Figura 2. Geolocalización de la boya HydroMet en la región noreste del Lago Menor: 16.246574°S, 68.680172°W, a 4 km al sur de Huatajata y 10 km al oeste de Puerto Pérez.

Por tanto, esta información podrá incidir en las políticas ambientales sobre la salud de este importante ecosistema. Por ejemplo, la boya permitiría ver: a) como el cambio demográfico afecta al Lago Menor del Titicaca; b) cuál es el efecto del retorno a la “normalidad” post pandemia; y c) el efecto de la puesta en marcha de las plantas de tratamiento proyectadas en Bolivia, junto a la segunda boya HydroMet en Puno y Juliaca (Perú). Así las implicaciones serán binacionales, favoreciendo una atención privilegiada por ambas naciones y una aplicación en programas de gestión transfronteriza del Lago Titicaca a gran escala.

En el sitio web de este observatorio (<https://olt.geovisorumsa.com/>) se elabora un sistema de información para acceder a las bases de datos. Los datos registrados serán de utilidad para los científicos, tomadores de decisión y la sociedad civil, como modo de alerta y verificación de las medidas más adecuadas y sostenibles de conservación y restauración del Lago. Esa información será soporte para programas de investigaciones innovadoras, así como de temas de tesis para investigaciones en biología, ecología, geografía, química, hidrología, física, entre otras.

Finalmente, nuestra responsabilidad social como investigadores es generar datos de calidad valiosos para la

gestión del ecosistema. Existe una gran incertidumbre sobre la trayectoria del Lago para las próximas décadas, dada la creciente sinergia entre el cambio climático y la antropización. Durante el Antropoceno, en una generación humana son notorios los efectos del cambio climático en el funcionamiento de los ecosistemas. En comparación, durante los periodos glaciares e interglaciares solían ocurrir a lo largo de miles de años.

Referencias

- Achá, D., S. Guédron, D. Amouroux, D. Point, X. Lazzaro, P.E. Fernandez & G. Sarret. 2018. Algal bloom exacerbates hydrogen sulfide and methylmercury contamination in the emblematic high-altitude lake titicaca. *Geoscience* 8: doi:10.3390/geosciences8120438
- Molina, C., X. Lazzaro, S. Guédron & D. Achá. 2017. Pollution at Cohana Bay, Lake Titicaca (Bolivia): challenges and opportunities to promote its recovery. *Ecología en Bolivia* 52: 65–76.
- Scheffer, M., S.H. Houser, M.-L. Meijer, B. Moss & E. Jeppesen. 1993. Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends in Ecology and Evolution* 8: 275–279.