

## 6. EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL CAMBIO GLOBAL EN EL IBÓN DE MARBORÉ (PARQUE NACIONAL DE ORDESA Y MONTE PERDIDO): INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS

Mata, M. P.<sup>1</sup>, Sánchez-España, J.<sup>2</sup>, Vegas, J.<sup>1</sup>, Rodríguez J.A.<sup>1</sup>, Morellón, M.<sup>2</sup> M., Salazar, A.<sup>1</sup> y Valero-Garcés, B.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Geológico y Minero. Madrid, España.

<sup>2</sup>Dpto. CC. de la Tierra y Física Materia Condensada. Univ. Cantabria. Santander. España.

<sup>3</sup>Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC. Zaragoza, España.

### Introducción

El objetivo principal del proyecto CLAM es evaluar e interpretar las modificaciones ambientales en tres lagos de alta montaña (Enol, Marboré y La Mosca) de la red de parques nacionales de España dentro del contexto del reciente Cambio Global. En concreto, los objetivos del subproyecto CLAM-1 para el ibón de Marboré eran la caracterización de los materiales geológicos del área fuente, con especial atención a los procesos de meteorización y tipos de aportes; así como establecer el funcionamiento limnológico, incluyendo un estudio del régimen térmico, evaluación del estado trófico, riesgo del aumento de nutrientes, y determinación del impacto antrópico por metales.

Debido a su localización geográfica remota, no existían datos previos sobre el funcionamiento del lago salvo los tomados por la CHE (2007-2013) que lo caracterizaban como un lago de alta montaña, profundo y de aguas alcalinas, con valores de Chl-a (0,65 mg/L), biomasa (0,71 mm<sup>3</sup>/L), pH (8,8) y P<sub>T</sub> (9,1 mg/mm<sup>3</sup>); lo que permitía establecer un nivel de calidad ecológica y físico-química de bueno a muy bueno.

Coordenadas	42°41'44.27"N; 0° 2'24.07"E;
Altitud / Prof. Max / Long/	2612 m / 29 m / 500 m
Clima	Alta Montaña (Cfc) Temperatura media (Ref. Góriz): 4.9 ±0.5°C. Mes más frío: Enero (-0.7°C) Precipitation media anual 2000 mm
Origen y contexto geológico	Sobreexcavación glaciar con control estructural y kárstico. Fm. Areniscas de Marboré (areniscas carbonatadas de edad Cretácico Superior)
Alteraciones de la cubeta	Represamiento en 1926, no funcional
Estado ecológico y químico DMA (CHE, 2013)	Bueno a muy bueno
Otros	Incluido en lugar de interés Geológico (Circo o Plana de Marboré)

Tabla 1. Principales características del Ibón de Marboré.

En este proyecto por un lado se ha completado la escasa información limnológica existente, y por otro, se ha proporcionado información necesaria para diseñar un programa de seguimiento que permita evaluar las modificaciones de este sistema en los escenarios de calentamiento global futuros.

### Materiales y métodos

Debido a la remota situación del lago (2692 m de altitud) y la dificultad de transportar el material de trabajo (Fig.1), solo se realizaron un total de 4 campañas de campo durante el periodo libre de hielo, julio a septiembre, durante los años 2013 a 2016. En el año 2013 se realizó una batimetría de detalle que se digitalizó en un formato Arc Info 9.0 (ESRI) y se fondeó una boya en la parte más profunda del lago, donde se instalaron 5 termistores de temperatura a 0,5; 5; 10; 15 y 20 m de profundidad (Fig.2). Se muestreó el sedimento tomando 6 testigos cortos con un sondeador tipo Uwitec y se midieron perfiles físico-químicos en la columna de agua del lago con las sondas multiparamétricas Hydrolab MS5 y DS5 de Hach®, y Pro Plus de YSI en la zona de fondeo. Los parámetros que se han medido son: temperatura –T–, conductividad eléctrica (CE), salinidad, pH, potencial redox (ORP), concentración de oxígeno disuelto (OD), presión total de gases disueltos (TDG), intensidad de la radiación fotosintéticamente activa (PAR), y concentración de clorofila-a. Se tomaron muestras de agua cada 5 metros de profundidad con una botella Van Dorn horizontal, que fueron filtradas a  $<0.45 \mu\text{m}$  y aciduladas con  $\text{HNO}_3$ .



Figura 1. Izquierda: Transporte de material a la zona de trabajo desde la pradera del Valle de Pineta. Derecha: trabajo en el lago en embarcación neumática.

Los testigos de sedimento se cortaron en dos secciones, se describieron y muestrearon, y se han almacenado a 4°C en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). En las secciones de los testigos se han analizado: a) composición química continua por fluorescencia de Rayos X en la Universidad de Barcelona; b) propiedades físicas e imagen digital con un Geotek MSCL © del IGME, y c) análisis químicos y mineralógicos en muestras discretas (resolución 0,5 cm a 1 cm). Además, se estudiaron las partículas minerales retenidas en los filtros por diferentes técnicas en los laboratorios centrales del IGME y en la Universidad del País Vasco. En las 25 muestras de agua se determinaron: i) aniones mayoritarios ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ), carbono orgánico e inorgánico disueltos y ii) cationes mayoritarios (Na, K, Mg y Ca por AAS), metales traza (por ICP-MS) así como S y Si (por ICP-AES).

## Resultados y discusión

La batimetría muestra tres zonas con fondos diferentes, que condicionan el tipo de sedimentación (Fig.2): una cubeta principal de 28,5 m de profundidad máxima, de dirección NO-SE y con taludes muy pendientes. Una cubeta secundaria al SE, de hasta 20 m de profundidad, separada por un umbral rocoso de la anterior y una zona muy poco profunda (menos de 4 m), separada por otro umbral, y que finaliza en el represamiento inoperativo.

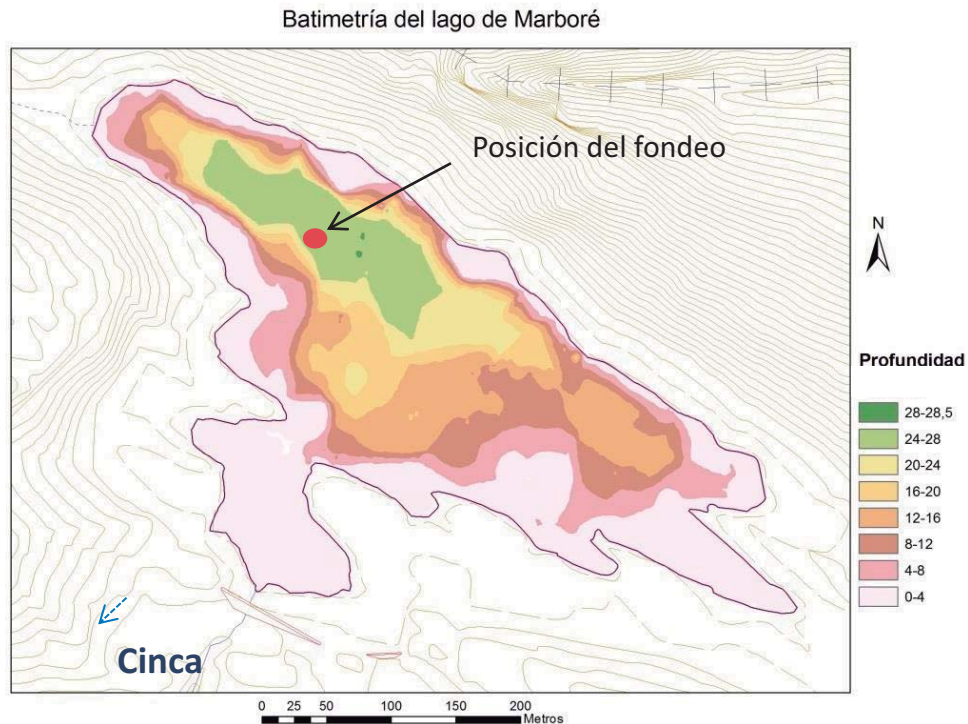


Figura 2. Batimetría del lago de Marboré y localización del fondeo donde se instalaron los termistores de temperatura.

La temperatura máxima de la superficie del lago ha sido de 10-11°C en agosto de 2013 y 2014, siendo 3-4°C superior en el verano de 2015 y 2016, debido a las elevadas temperaturas registradas en la época estival de los dos últimos años. La estratificación térmica estival es muy breve, de agosto a septiembre, y los perfiles de temperatura muestran que la termoclina está a 6-7 m de profundidad, con temperaturas en el fondo del lago de 4-7 °C. En invierno se produce una estratificación térmica inversa, quedando la superficie helada desde diciembre a julio. La columna de agua muestra bajos consumos de O<sub>2</sub> (habitualmente 80-120 % sat., 8-11 mg/L OD) y contenidos también bajos en nitratos (<1 mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), TOC (< 0,8 mg/l), P (<6 µg/l) y SiO<sub>2</sub> (0,3 mg/l). Se han observado cantidades apreciables de Fe, Zn, Co, Cu y Mn en torno a la termoclina, más patentes en el año 2013, llegando a alcanzar valores de hasta 885 µg/L de Zn, 70 µg/L de Mn y de manera destacada 4519 µg/L de Fe. Los valores de pH son sensiblemente menores que los medidos por la CHE (8.5 en 2007, 7.6 en 2008 y 7.3 en 2009) y los de TDG (gas disuelto) muestran claras variaciones en la concentración de CO<sub>2</sub>.

Los elevados contenidos en metales traza encontrados en la termoclina puedan proceder de la oxidación y posterior lixiviado de sulfuros y carbonatos presentes en las rocas sedimentarias de la cuenca hidrológica, tal como se puede corroborar por datos procedentes de sondeos (Valero Garcés et al, 2013, Oliva et al., 2013) no pudiéndose descartar contaminación atmosférica difusa a gran escala.

## **Conclusiones**

Los datos disponibles hasta el momento siguen siendo escasos, debido a la inaccesibilidad del lago, al alto coste de los trabajos necesarios y al breve espacio temporal que existe para la realización de estos trabajos. Sin embargo, se puede clasificar el ibón como un lago dimítico frío y ultra- oligotrófico, debido al escaso aporte de nutrientes, baja productividad primaria y bajo consumo de O<sub>2</sub>. Los datos indican un aumento significativo de la temperatura en la superficie del agua durante el verano en la ventana temporal 2013-2016, relacionado con las variaciones estivales de temperatura del aire durante ese mismo periodo.

Aparentemente, existen ligeras diferencias con respecto a algunos datos previos de la CHE. Por un lado, el pH parece mostrar un descenso que podría deberse a procesos de acidificación y, por otra parte, los valores de nitrato son superiores a los analizados previamente. Ambos podrían estar relacionados con procesos de carácter global. Por el contrario, el origen más probable del aumento de metales traza en torno a la termoclina podría ser local, y debido a procesos de meteorización de sulfuros de Fe-Pb-Zn ocurridos en la cuenca.

## **Medidas de seguimiento propuestas**

El aumento de temperaturas esperable en los próximos años provocará cambios en el régimen térmico de todos los lagos, sobre todo debido al calentamiento del epilimnion. Si, además, existe una variación en la cantidad y tipo de aportes atmosféricos, los cambios en este sistema sensible, pristino y remoto, podrían ser aún más significativos. Por lo tanto, se recomienda el seguimiento y medida en continuo de la temperatura (termistores instalados en la columna de agua), así como del pH, y el análisis de nitratos y sulfatos, con el fin de evaluar a medio plazo el aparente aumento encontrado en este proyecto. De forma adicional, se recomienda hacer periódicamente observaciones limnológicas integrales, para determinar el impacto que estos cambios inducen en la diversidad y tipología del fitoplancton.

## **Agradecimientos**

Los autores dedican este trabajo a la Dra María Rieradevall, coordinadora del proyecto CLAM, del que este subproyecto forma parte, fallecida en Octubre del año 2015. Este proyecto ha sido financiado con una ayuda del Organismo Autónomo de Parques Nacionales (OAPN) al proyecto "Evaluación y seguimiento del cambio global en tres lagos de alta montaña: Enol, Marboré y La Caldera. Indicadores físico-químicos", (referencia 533S/201). Agradecemos al personal y guardería del PNOMP la ayuda prestada durante el transcurso del Proyecto. Así mismo agradecemos a Acciona la ayuda prestada para el almacenamiento de material en el lago de Marboré, al personal de los diferentes laboratorios utilizados por la ayuda recibida en la realización de los análisis y a todos aquellos investigadores del IPE (CSIC), UAM, IGME que han colaborado en las campañas de campo durante estos años.

## **Referencias**

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO. 2013. Diseño y explotación de la red de seguimiento de lagos en la cuenca del Ebro, 232pp. Disponible en PDF en la web: <http://www.chebro.es>

OLIVA-URCIA, B. MORENO, A. VALERO GARCÉS, B. MATA M.P. & GRUPO HORDA 2013. Magnetismo y cambios ambientales en registros terrestres: el Lago de Marboré, Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (Huesca). Cuadernos de Investigación Geográfica. 39 - 1, 117 - 140.

VALERO GARCÉS; B, OLIVA URCA; B. MORENO; A. RICO; M. MATA; P. SALAZAR, A. RIERADEVAL, M GARCÍA-RUIZ, J.M. CHUECA, J. GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ, P., PÉREZ, A: SALABARNADA, A: PARDO, A;

ARRUEBO MUÑO, T. SANCHO, C, BARREIRO, F BARTOLOMÉ, M, GARCÍA-PRIETO, E. GIL-ROMERA, G. LÓPEZ-MERINO, L, SEVILLA-CALLEJO, M. & TARRATS, P. 2013. Dinámica glacial, clima y vegetación en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido durante el Holoceno. Memorias de Proyectos de investigación en parques nacionales: 2009-2012. Ed. Lucía Ramírez. OAPN.