



CONAMA10
CONGRESO NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Valoración del estado de conservación de los lagos de alta montaña del Pirineo Aragonés: diagnóstico de la situación actual, análisis comparativo y propuesta de medidas de gestión

Autor: Tomás Arruebo Muño^{1,2}

Institución: Fundación Boreas

e-mail: tarruebo@gmail.com

Otros Autores: Santolaria, Z.^{3,4}, Pardo, A.^{1,5,6}, Del Valle, J.^{1,2}, Urieta, J.³, Lanaja, J.⁴ y Rodríguez, C.^{1,7}

1. Fundación BOREAS, C/ María Lostal 11, 2º A, 50008-Zaragoza (SPAIN).
2. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Zaragoza, C/Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza (SPAIN).
3. Grupo de Termodinámica Aplicada y Superficies (GATHERS). Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A). Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza.
4. Laboratorio de Calidad de Aguas y Medio Ambiente, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial, Universidad de Zaragoza.
5. Escuela Politécnica Superior de Huesca, Universidad de Zaragoza, Carretera de Cuarte, s/n, 22071-Huesca (SPAIN).
6. Federación Aragonesa de Actividades Subacuáticas (FARAS), Padre Marcellán, 15 (Edificio Kasan) 50015-Zaragoza (SPAIN).
7. Departamento de Didáctica de la Ciencias Experimentales, Facultad de Educación, Universidad de Zaragoza, C/ San Juan Bosco, 7 - 50009 Zaragoza (SPAIN).

RESUMEN

Los lagos de alta montaña se encuentran entre los ecosistemas acuáticos más frágiles. Son el resultado de la intensa dinámica climática que ha modelado la cordillera Pirenaica durante el Pleistoceno. Las comunidades que albergan están compuestas por distintas especies endémicas. Sus sedimentos y su historia ecológica reciente presentan un alto interés científico debido a la información que acumulan sobre la evolución climática desde el Pleistoceno a nuestros días. Además, durante los últimos años han sido utilizados para la realización de distintas actividades educativas y recreativas, lo que les confiere un alto valor socioeconómico y cultural.

Este trabajo describe una primera aproximación a la valoración ambiental del estado de conservación que presentan varios lagos de alta montaña del Pirineo aragonés. Durante un ciclo anual se han monitorizado distintos ecosistemas lacustres, y se han identificado y evaluado los impactos que las distintas actividades humanas ejercen sobre ellos. Posteriormente, se han propuesto una serie de medidas para la correcta gestión de estos entornos.

Palabras Clave: lagos, montaña, Pirineo Aragonés, valoración, presiones, medidas de gestión.

Abstract

High mountain lakes are among the most sensitive aquatic ecosystems. They are a consequence of the intense climate dynamics that shaped the Pyrenees mountain range during the Pleistocene. They harbour unique communities with frequent endemic species. Their sedimentological and recent ecological records show great scientific value as source of unique data on the Pleistocene and recent climatic changes. Moreover, in recent years Pyrenean high mountain lakes have become a valuable resource for educational and recreational activities

This study describes a first approximation to an environmental assessment based on the conservation state of a number of high mountain lakes located in the Aragonese Pyrenees. A selected group of lakes have been monitored throughout an annual cycle, and various human impacts have been detected and evaluated. As a result, we propose a set of corrective measures for an adequate management of these environments.

Keywords: lakes, mountain, Pyrenees, assessment, pressures, management

1. Introducción

Entre los diferentes ecosistemas dulciacuícolas que existen en Aragón, los lagos pirenaicos de alta montaña son, quizá, los más frágiles y singulares. Éstos son el resultado de la intensa dinámica climática y geológica que ha modelado la cadena pirenaica desde el Pleistoceno hasta la actualidad.

Su génesis, hace unos 10.000 años, está directamente ligada a la dinámica glacial del Pleistoceno, y más concretamente con el tránsito del último periodo glacial – Würm - al actual interglaciar (*cf.*, Pascual *et al.*, 2000; Ehlers y Gibbard, 2004). Durante los periodos de mayor extensión glacial, la presión glacioestática ejercida por las grandes masas de hielo sobre el terreno por el que discurrían, especialmente en las zonas en que se produce una disminución de la pendiente, produjeron depresiones denominadas cubetas de sobreexcavación glacial. Con el retroceso de las masas de hielo, estas cubetas se transforman en áreas lacustres receptoras de aguas procedentes del deshielo de glaciares y neveros superiores, y que en Aragón son denominados *ibones* (López Moreno, 2000; Figura 1).

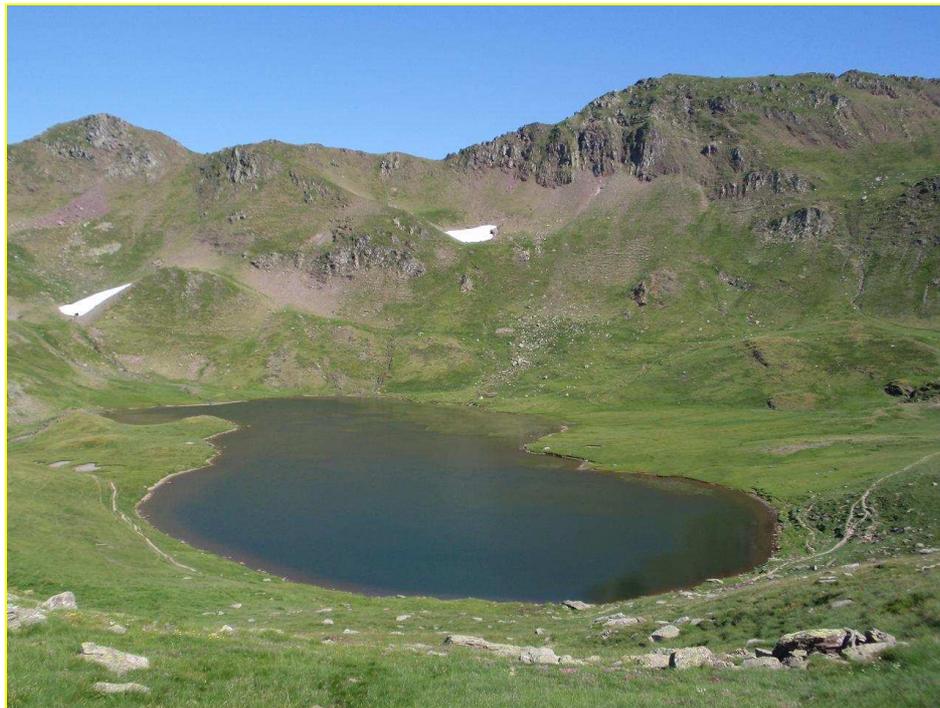


Figura 1. Ibón de Escalar: ejemplo representativo de un lago de alta montaña de origen glacial del Pirineo Aragonés (Fotografía: Alfonso Pardo).

Los ibones altoaragoneses presentan interés desde las perspectivas económica, humana, y científica. Desde ésta última, son una valiosa fuente de información sobre la evolución climática del Pirineo aragonés desde el Pleistoceno hasta la actualidad, como lo demuestran los diversos estudios paleoclimáticos realizados en ellos (*cf.*, Chueca *et al.*, 1998). Sus pequeñas dimensiones y simple estructura los convierte en unos sistemas ideales para el control de cambios globales a largo plazo (*cf.*, Oertli *et al.*, 2008). Por ello poseen un valor relevante en la predicción de cambios en los patrones climáticos globales (Gurung, 2005).

Debido a sus características de aislamiento, cada ibón puede considerarse como un ecosistema único donde es posible observar las diversas relaciones entre las diferentes poblaciones de organismos, sus respuestas a los cambios medioambientales, así como la influencia que la actividad humana ejerce sobre los mismos (*cf.*, Margalef, 1983). Del mismo modo, su localización geográfica –normalmente por encima de los 1700 m (Del Valle y Rodríguez, 2004)- deriva en unas condiciones ambientales extremas y particulares. Ello, influye fuertemente en su biocenosis y favorece la presencia de distintos endemismos, como el tritón pirenaico o la lagartija pirenaica (Arruebo Muño *et al.*, 2008).

Si el valor de los ibones resulta incuestionable para un mejor conocimiento de una gran variedad de disciplinas científicas, no por ello debe desestimarse su enorme interés socioeconómico y cultural. En general, todos estos entornos han sido y son muy utilizados por el ser humano como fuentes de agua, de energía hidroeléctrica, y en general como fuentes de recursos para los asentamientos humanos en la alta montaña. Además, en las últimas décadas también son utilizados en la práctica de multitud de actividades deportivas y recreativas. Por ello, los ibones pirenaicos presentan un enorme potencial para su valorización, aprovechamiento y desarrollo sostenible desde el punto de vista recreativo, deportivo y de concienciación medioambiental (*cf.*, Del Valle y Rodríguez, 2004, Lanaja *et al.*, 2005; Rodríguez *et al.*, 2009).

Todo ello hace que sea imprescindible conocer cuál es el estado medioambiental actual de estos ecosistemas, cuáles son los efectos de los usos que los diferentes colectivos humanos realizan de ellos, y cuáles deben ser las acciones necesarias para su conservación y gestión sostenible.

2. Estado de la cuestión

A finales del siglo XVIII, el geólogo y naturalista suizo Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799) inicia sus famosas expediciones a los Alpes, fruto de las cuales comienzan a recopilarse los primeros datos científicos sobre este tipo de ecosistemas lacustres. A España se importaron estos modelos europeos un siglo más tarde, apareciendo los primeros relatos paisajísticos y geográficos de distintos lagos glaciares peninsulares a finales del siglo XIX (*cf.*, Casado de Otaola, 2000).

No obstante, en el continente europeo los primeros estudios limnológicos que hacían referencia a lagos remotos de montaña – *i.e.*, aquellos situados por encima de la cubierta forestal en las zonas de montaña o más allá de esta línea a altas latitudes - se realizaron a mediados del siglo XX. Así, surgieron numerosos estudios centrados en lugares concretos de determinadas regiones, y que se aproximaban desde diferentes perspectivas, analizando su productividad, la química de sus aguas, su dinámica invernal u otros aspectos (*cf.*, Catalan *et al.*, 2009).

En nuestro país, los estudios pioneros se centraron en el lago de Sanabría, coincidiendo con el año fundacional de la Limnología en España en 1912 (cf., Taboada Tundidor, 1913). Dos años más tarde, se inauguró el Laboratorio de Hidrobiología Española, surgiendo así los primeros estudios ecológicos sobre estos lagos (Casado de Otaola, 2000), y ya en una historia más reciente y desde esta perspectiva limnológica, se han de destacar las aportaciones de Ramón Margalef, artífice de numerosas obras de referencia en este campo (cf., Margalef, 1983). Actualmente, el grupo de limnología del Centro de Investigaciones de Alta Montaña (CRAM) de la Universidad de Barcelona participa en multitud de proyectos internacionales relacionados y publica numerosos trabajos que abordan estos sistemas lacustres desde diferentes perspectivas.

En la Comunidad Autónoma de Aragón, al margen de los estudios paleoclimáticos ya citados con anterioridad, son escasos los trabajos realizados sobre estos ambientes pirenaicos. Tomando como fuente el Inventario de Lagos y Humedales de España, se caracterizaron morfológica y morfométricamente todos los lagos de alta montaña de la España Peninsular de más de 0,5 hectáreas de superficie (cf., Pascual *et al.*, 2000). También aparecen algunos estudios que abordan el conocimiento de estos sistemas lacustres centrándose en su flora (cf., Cirujano *et al.*, 1997), en el análisis de su ictiofauna (cf., Almodóvar y Elvira, 2000), en su biota bentónica (cf., Prat *et al.*, 1992), así como en la hidroquímica de las redes fluviales que alimentan o que los alimentan (cf., Betrán *et al.*, 1998; Puyal *et al.*, 1998).

En el año 2002, investigadores de la Universidad de Zaragoza en colaboración con miembros de la Fundación BOREAS iniciaron una línea de investigación en este campo. Los primeros estudios se realizaron para la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), dentro del proyecto *Tipificación hidrológica de las lagunas de montaña de la cuenca del Ebro*, cuyos resultados permitieron actualizar y completar el Inventario de Puntos de Agua de la CHE (cf., Del Valle y Rodríguez, 2004). Por otra parte, y desde la óptica integral de evaluación de la salud ecológica de estos lagos, este equipo de trabajo realizó el proyecto pionero *Estudio medioambiental piloto de un ibón pirenaico afectado por la acción antrópica*, (2002-2004), financiado por el Departamento Ciencia, Tecnología y Universidad del Gobierno de Aragón y fundamentado en el concepto de estado ecológico expuesto por la Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de Octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de Aguas, denominada comúnmente Directiva Marco del Agua (DMA; cf., Lanaja *et al.*, 2005).

Durante el periodo 2005-2007, este grupo continuó trabajando en esta línea dentro del proyecto *Modelo de gestión para espacios naturales de alto interés ecológico: lagos de alta montaña (ibones)*, financiado por la Fundación Biodiversidad. El objetivo fundamental de este proyecto fue la propuesta preliminar de un modelo de gestión sostenible para los lagos de alta montaña, y se centró en dos ibones: Baños y Sabocos (Panticosa, Huesca). Los resultados de estos proyectos permitieron identificar los principales problemas y afecciones a los que se enfrentan estos ecosistemas y desarrollar una propuesta metodológica para su evaluación medioambiental según lo expuesto por la DMA (cf., Lanaja *et al.*, 2008, Rodríguez *et al.*, 2009).

Posteriormente, durante el año 2009 se realizaron los primeros trabajos en el ibón de Marboré, situado dentro del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, y en los ibones de Truchas y Escalar (Figura 2). El objetivo fundamental de esta primera aproximación

fue caracterizar estos ecosistemas lacustres valorando distintos parámetros físicos, químicos y biológicos de sus aguas, así como estudiando las características de su sustrato edáfico. Los resultados de estas campañas de muestreo permitieron elaborar una primera base de datos ecológicos de estos lagos, y estudiar las diferencias y similitudes con los datos recopilados en otros lagos del Pirineo Aragonés.



Figura 2. Personal científico recoge las muestras de sedimentos tomadas con ayuda de buceadores del fondo del ibón de Marboré (Fotografía: Javier del Valle).

Finalmente, durante este último año 2010 se han continuado los trabajos en cinco lagos altoaragoneses: Baños, Sabocos, Truchas, Escalar y Marboré. Los resultados obtenidos han permitido continuar enriqueciendo la base de datos ecológicos relativos a estos ecosistemas tan singulares de Aragón, y un análisis preliminar de la información recopilada ha servido para realizar una primera aproximación al funcionamiento de estos lagos, su dinámica y las medidas de gestión necesarias para asegurar su conservación a largo plazo.



Figura 3. Trabajo de campo realizado en el ibón de Truchas (Astún) durante las distintas estaciones del año 2010 (Fotografías: Tomás Arruebo).

En este trabajo se presentan algunas de las principales conclusiones obtenidas a lo largo los años 2009-2010. Debido a la síntesis requerida en el presente texto, se han tomado los datos de distintos lagos como ejemplos representativos, obviando otros.

Finalmente, se proponen una serie de medidas generales para la correcta gestión de estos entornos, cuya interpretación requiere la consideración de este trabajo como preliminar, sabiendo que conclusiones más definitivas exigirán de futuros trabajos que aborden con una mayor profundidad estas cuestiones.

3. Objetivos

El objetivo fundamental es contribuir al establecimiento de unas bases científicas y técnicas que permitan conocer y valorar el estado de conservación de estos lagos, y proponer una alternativa para su gestión sostenible en el contexto del Pirineo Aragonés.

4. Metodología

Las distintas etapas metodológicas seguidas para el logro de los objetivos planteados se sintetizan a continuación:

- *Autorizaciones:*
 - En los casos necesarios, se han solicitado *las autorizaciones pertinentes* para poder desarrollar el trabajo de campo requerido. Para el acceso a aquellos lagos que se encuentren dentro de los límites de explotación de alguna de las estaciones de esquí alpino, esta autorización se ha solicitado a la empresa gestora de la misma. Y, para el acceso a algún Espacio Natural Protegido, esta autorización se ha solicitado al Instituto Aragonés de Gestión Ambiental.

- *Trabajo de campo:*

- Se han realizado tanto análisis *in situ* como muestreos periódicos y estacionales de material biológico y de muestras de agua, nieve y sedimentos (Figura 4)

En cada lago se han seleccionado varios puntos de muestreo, supeditando ésta a lo expuesto por la norma UNE-EN 25667-1:1995, y se han tenido en cuenta los protocolos ya estandarizados durante el desarrollo de proyectos relacionados. El número de puntos muestreados ha venido condicionado por la profundidad máxima presente en los distintos lagos, variando desde 3 puntos monitorizados en los lagos de Marboré y Sabocos, hasta 1 punto monitorizado en el ibón de Escalar. Las tomas de muestras de aguas se han realizado con la ayuda de una embarcación neumática y una bomba peristáltica, o mediante botellas de muestreo CRALF (cf., Pardo y Rodríguez, 2007) y el trabajo de buceadores.



Figura 4. Toma de muestras en los lagos de Truchas y Sabocos durante la primavera del año 2010 (Fotografías: Zoe Santolaria y Tomás Arruebo).

Se han realizado prospecciones para la determinación de indicios de impactos causados por los distintos usos y actividades desarrolladas en estos entornos. La determinación de indicios de presiones e impactos se ha realizado a partir de prospecciones oculares del lecho del lago, las orillas y el entorno próximo (Figura 5).



Figura 5. Algunos indicios de impactos identificados en el lago de Baños y en el lago de Escalar durante las distintas campañas realizadas (Fotografías: Alfonso Pardo y Tomás Arruebo).

- *Trabajo de Laboratorio:*

- Una vez realizado el trabajo de campo, las distintas muestras se han analizado en laboratorios especializados.

La determinación de la mayor parte de los parámetros analizados en muestras de agua se ha realizado en el laboratorio de Calidad de Aguas de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de la Universidad de Zaragoza. Los parámetros relacionados con aspectos microbiológicos y contaminantes orgánicos se han analizado en el Instituto Municipal de Salud Pública del Ayuntamiento de Zaragoza. Y la determinación de metales en concentraciones traza se ha realizado en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

- *Trabajo de gabinete:*

- *Caracterización básica de las aguas*

La caracterización de sus aguas se ha realizado a partir de los resultados obtenidos en el trabajo de laboratorio. De este modo, se han analizado los datos buscando similitudes y diferencias entre lagos de distintas cuencas.

- *Evaluación del estado de conservación en el que se encuentran estos lagos a partir de lo expuesto en la Directiva Marco del Agua.*

La determinación de umbrales aceptables para los distintos parámetros se ha realizado a partir de una revisión de la información bibliográfica existente, de los límites legales expuestos en distintas normativas nacionales e internacionales, y del registro histórico de datos actualmente disponible para estos lagos.

Una vez determinados los umbrales admisibles, se han comparado con los datos obtenidos para determinar la calidad ecológica en función de algunas de las especificaciones expuestas en Directiva Marco del Agua y se han analizado posibles parámetros limitantes del estado ecológico final.

- *Análisis el conjunto de presiones e impactos que inciden en estos ecosistemas y su repercusión sobre su estado de conservación.*

El análisis de las distintas presiones e impactos se ha realizado a partir de una revisión bibliográfica y de las observaciones *in situ* realizadas durante las jornadas de campo. De este modo, se ha realizado una primera caracterización de los impactos más habituales en estos lagos y se han buscado posibles relaciones entre las distintas presiones y las afecciones observadas.

- *Propuesta un conjunto de medidas que permitan la correcta gestión de estos entornos y el desarrollo compatible de las actividades que tradicionalmente se desarrollan en estos entornos con la conservación de sus valores naturales.*

La propuesta de medidas de gestión se ha realizado a partir de las conclusiones obtenidas en las fases previas. De este modo, fundamentado en las principales presiones y afecciones detectadas, se ha propuesto un conjunto de actuaciones de gestión que permitan la compatibilización de la conservación de estos entornos

con el desarrollo de los distintos usos y actividades que tradicionalmente en ellos se desarrollan.

5. Resultados

5.1. Caracterización fisicoquímica de las aguas a partir del análisis de parámetros elementales

En un primer momento se han realizado analíticas de las aguas de distintos parámetros elementales. A continuación, a modo de ejemplo, se incluye una síntesis de los principales parámetros analizados (Tabla 1), y de los resultados obtenidos en el lago de Baños durante las campañas de invierno y verano (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.-11**).

Tabla 1. Parámetros elementales analizados en las distintas muestras de agua

PARÁMETRO	UNIDADES
Temperatura del agua	°C
pH del agua	Adimensional
Alcalinidad	mg/l
Dureza	mg/l
Potencial redox	mV
Conductividad	μS/cm ²
Total de Sales Disueltas	mg/l
Residuo Total Total	mg/l
Sólidos en Suspensión Totales	mg/l
Turbidez	FTU
Concentración de clorofila "a"	μg/l
Oxígeno disuelto	mg/l

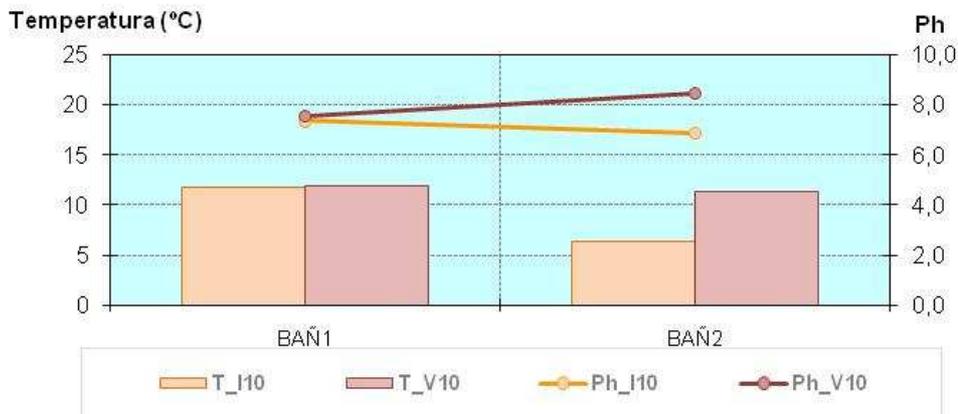


Figura 6. Caracterización básica del lago de Baños a partir del análisis de temperatura y pH

Leyenda: BAÑ1: punto 1 situado a 2m de profundidad. BAÑ2: punto 2 situado a 12m de profundidad. T_I10: temperatura medida durante el invierno del año 2010. T_V10: temperatura medida durante el verano del año 2010. Ph_I10: Ph medido durante

Como era esperable, la temperatura del agua medida en el ibón de Baños fluctuó notablemente en función de la estación del año (Figura 6). Durante la estación de verano, la temperatura media osciló entre 11,9 °C y 11,3 °C. Durante la estación invernal las oscilaciones entre puntos de muestreo fueron más destacas, quizás motivado por los procesos de estratificación que caracterizan a estos lagos durante esta época del año, variando entre los 11,8 °C medidos en el epilimneon (*i.e.*, Punto 1) y los 6,3 °C medidos en el hipolimneon (*i.e.*, Punto 2). El pH determinado en las distintas muestras de agua de este lago se puede caracterizar como alcalino, y los valores más elevados corresponden a la estación de verano cuando este parámetro osciló entre pH 7,5 y pH8,5. Valores sensiblemente inferiores se registraron durante la campaña de invierno, variando éstos entre 6,8 y 7,3.

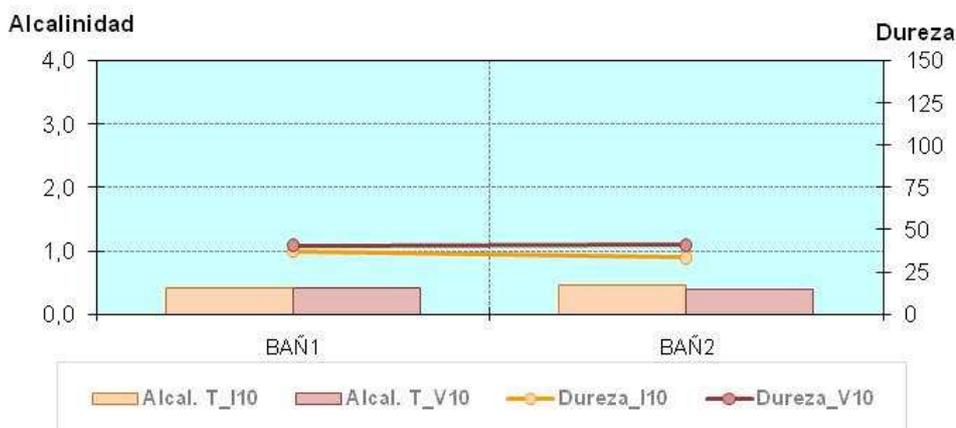


Figura 7. Caracterización básica del lago de Baños a partir del análisis de alcalinidad y dureza

Leyenda: BAÑ1: punto 1 situado a 2m de profundidad. BAÑ2: punto 2 situado a 12m de profundidad. Alcal.T_I10: alcalinidad total medida durante el invierno del año 2010. Alcal.T_V10: alcalinidad total medida durante el verano del año 2010. Dureza_I10:

La alcalinidad y la dureza determinadas en las distintas muestras tomadas en este lago muestran una cierta homogeneidad entre puntos de muestreo y entre estaciones (Figura 7). De este modo, las concentraciones de alcalinidad determinadas oscilaron entre 0,39 mg/l y 0,45 mg/l, y la dureza entre 33,5 mg/l y 40,9 mg/l.

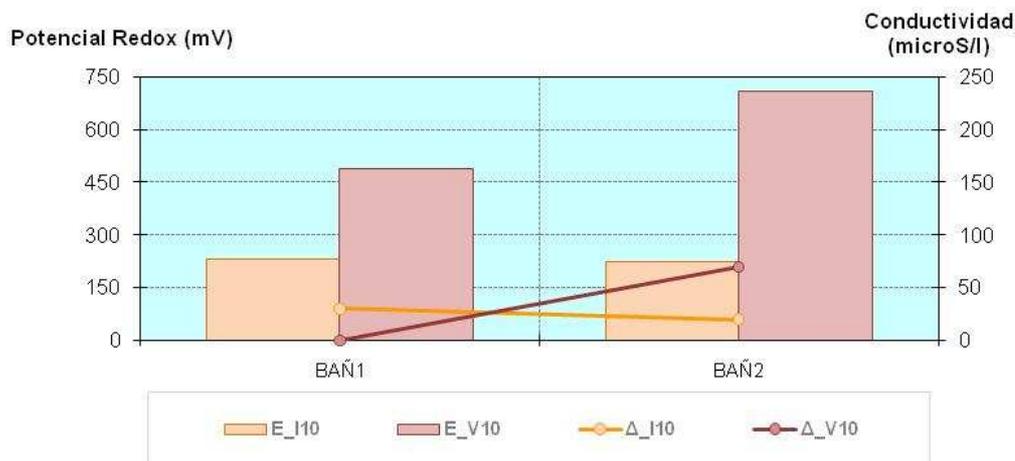


Figura 8. Caracterización básica del lago de Baños a partir del análisis del Potencial Redox y la Conductividad

BAÑ1: punto 1 situado a 2m de profundidad. BAÑ2: punto 2 situado a 12m de profundidad. E_I10: Potencial Redox medido durante el invierno del año 2010. E_V10: Potencial Redox medida durante el verano del año 2010. A_I10: conductividad medida

Sin embargo, los parámetros potencial redox y conductividad muestran un comportamiento más heterogéneo tanto entre puntos de muestreo como entre estaciones (Figura 8). De este modo, el potencial redox alcanzó sus valores más elevados durante la estación de verano, oscilando entre los 487 mV determinados en el punto 1 y los 710 mV determinados en el punto 2, y sus valores más bajos durante la estación de invierno, variando en esta época del año dentro del rango comprendido entre 230-225 mV.

Un comportamiento similar mostró la conductividad. Durante la estación de verano se alcanzaron los valores más dispares para este parámetro entre puntos de muestreo, oscilando entre 0 $\mu\text{S/cm}$ correspondientes al punto 1 y 70 $\mu\text{S/cm}$ correspondientes al punto 2. Y valores más homogéneos se determinaron durante las estaciones de invierno, con unos rangos de variación de 10-20 $\mu\text{S/cm}$

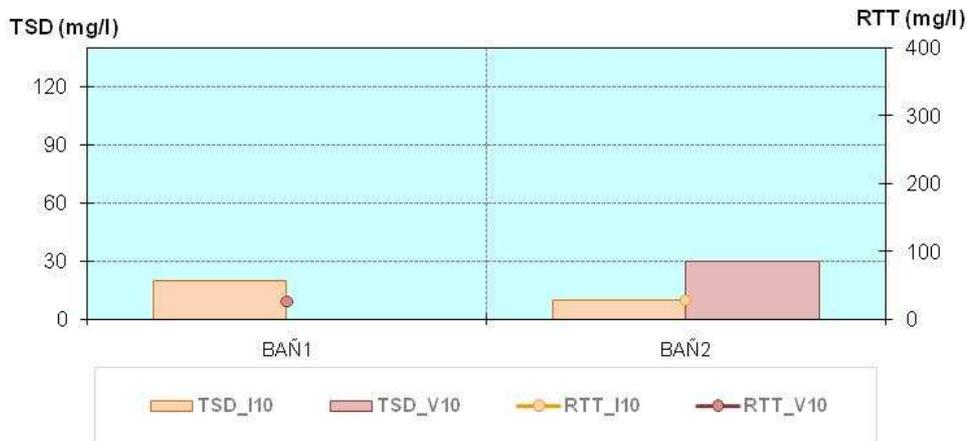


Figura 9. Caracterización básica del lago de Baños a partir del análisis del Total de Sales Disueltas (TSD) y del Residuo Total Total (RTT)

Leyenda: BAÑ1: punto 1 situado a 2m de profundidad. BAÑ2: punto 2 situado a 12m de profundidad. TSD_I10: TSD medidas durante el invierno del año 2010. TSD_V10: TSD medidas durante el verano del año 2010. RTT_I10: RTT medido durante

Las determinaciones realizadas del parámetro TSD también mostraron oscilaciones notables tanto entre puntos de muestreo como entre estaciones (Figura 9). De este modo, las concentraciones de esta parámetro oscilaron durante la campaña de invierno entre 20-10 mg/l, y durante la campaña de verano entre 0-30 mg/l. Y las determinaciones realizadas del parámetro RTT mostraron un comportamiento altamente heterogéneo.

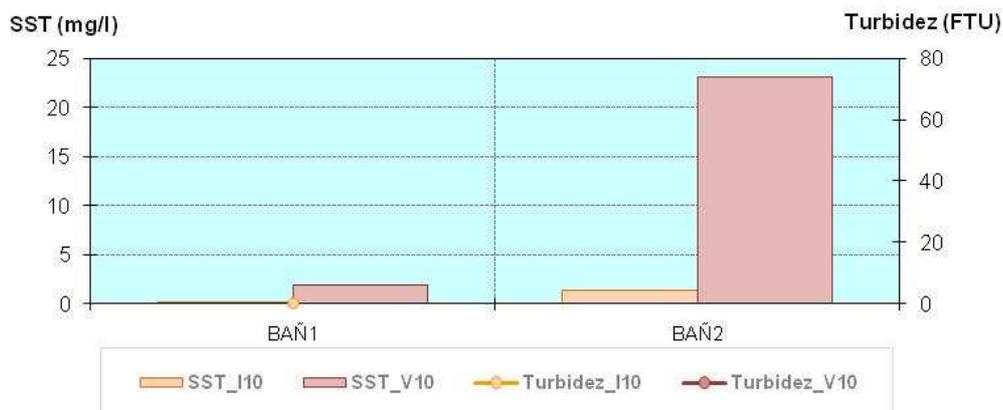


Figura 10. Caracterización básica del lago de Baños a partir del análisis de los Sólidos en Suspensión Totales (SST) y de la Turbidez

Leyenda: BAÑ1: punto 1 situado a 2m de profundidad. BAÑ2: punto 2 situado a 12m de profundidad. SST_I10: SST medidos durante el invierno del año 2010. SST_V10: SST medidos durante el verano del año 2010. Turbidez_I10: Turbidez medida

Variaciones interanuales y entre puntos de muestreo también fueron detectadas en las determinaciones del parámetro SST (Figura 10). De este modo, las concentraciones más altas se determinaron durante la estación de verano, con unos valores que oscilaron entre 1,9 mg/l correspondientes al punto 1 y 23,1 mg/l correspondientes al punto 2. Y concentraciones sensiblemente inferiores fueron detectadas durante la campaña de invierno, con unos rangos de variación de 0,2-1,4 mg/l.

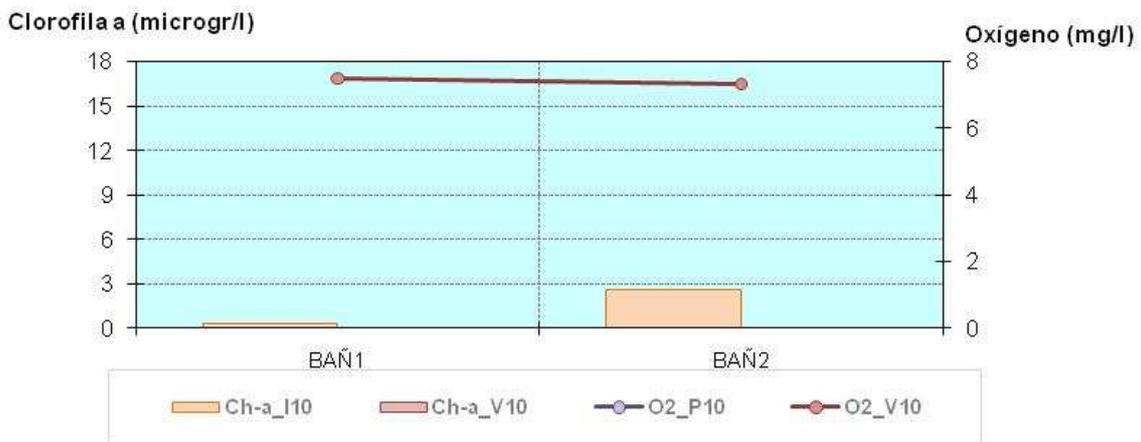


Figura 11. Caracterización básica del lago de Baños a partir del análisis de la clorofila a y del oxígeno disuelto

Leyenda: BAÑ1: punto 1 situado a 2m de profundidad. BAÑ2: punto 2 situado a 12m de profundidad. Ch-a_I10: clorofila a medida durante el invierno del año 2010. Ch-a_V10: clorofila a medida durante el verano del año 2010. O2_I10: oxígeno disuelto medido durante el invierno del año 2010. O2_V10: oxígeno disuelto medido durante el verano del año 2010.

Finalmente, dentro de este grupo de parámetros básicos, también se ha determinado las concentraciones de oxígeno disuelto y clorofila "a" (Figura 11). Las concentraciones determinadas de oxígeno disuelto oscilaron entre 6,7 mg/l y 7,5 mg/l, y una mayor variabilidad mostró el parámetro clorofila "a"; así, durante la campaña de invierno, única estación en la que fue calculada, este parámetro osciló entre los 0,4 µg/l determinados en el punto 1 y los 2,6 µg/l determinados en el punto 2.

5.2. Caracterización de los iones básicos analizados en las distintas muestras de agua

Junto con estos parámetros elementales, también se han realizado analíticas de los distintos iones básicos. A continuación, a modo de ejemplo se incluye una síntesis de los resultados obtenidos en el lago de Truchas durante las campañas de primavera y otoño (Figuras 12 y 13).

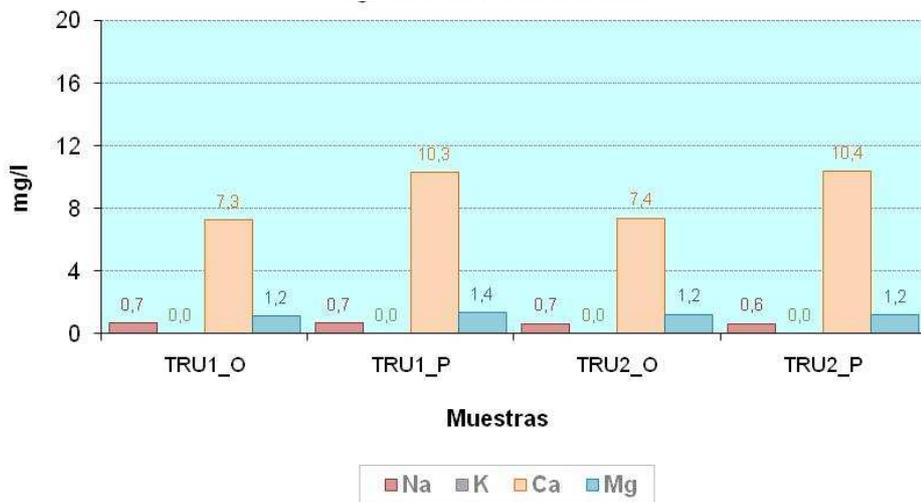


Figura 12. Determinaciones de cationes básicos en las muestras de agua del lago de Truchas

Leyenda: TRU1: punto 1 situado a 2m de profundidad. TRU2: punto 2 situado a 4,5m de profundidad. O: datos relativos a la estación de otoño. P: datos relativos a la estación de primavera. Na: concentraciones de sodio. K: concentraciones de potasio. Ca: concentraciones de calcio. Mg: concentraciones de magnesio.

En el ibón de Truchas se han muestreado dos puntos; el punto 1, situado en el centro del lago a 2 m de profundidad, y el punto 2, situado en el centro del lago a 4,5 m de profundidad.

Las muestras de agua tomadas en este lago presentan oscilación en las concentraciones de cationes analizadas en función de la estación del año muestreada (Figura 12). Y, sin embargo, los dos puntos muestreados presentan escasas variaciones en las concentraciones del total de cationes. Esta homogeneidad en los valores determinados para ambos puntos podría ser debida a la escasa profundidad de la cubeta de este lago (*i.e.*, inferior a 10 m), que evita que se puedan manifestar los procesos de estratificación típicos de lagos más profundos.

Durante la estación de otoño, las concentraciones determinadas del ión Ca^+ en ambos puntos de muestreo oscilan entre 7,4 y 7,5 mg/l, y las concentraciones del ión Mg^+ y del ión Na^+ en ambos casos es de 1,2 mg/l y 0,7 mg/l respectivamente. Finalmente, se ha de destacar que no se han analizado concentraciones del ión K^+ por encima del límite de detección en ninguno de los casos.

Por otro lado, los análisis realizados durante la estación de primavera también manifiestan una notable homogeneidad entre ambos puntos muestreados. De este modo, las concentraciones del ión Ca^+ oscilan entre los 10,3 y 10,4 mg/l, las concentraciones del ión Mg^+ entre los 1,4 y 1,2 mg/l, y las concentraciones del ión Na^+ entre los 0,7 y 0,6 mg/l. Destacar que durante esta estación tampoco se determinaron concentraciones del ión K^+ por encima del límite de detección.

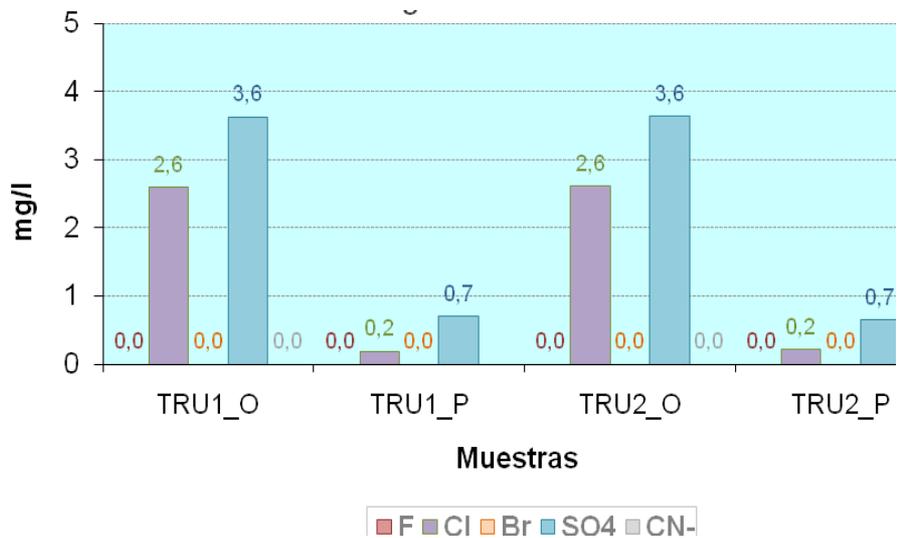


Figura 13. Determinaciones de aniones básicos en las muestras de agua del lago de Truchas

Legenda: TRU1: punto 1 situado a 2m de profundidad. TRU2: punto 2 situado a 4,5m de profundidad. O: datos relativos a la estación de otoño. P: datos relativos a la estación de primavera. F: concentraciones de fluoruros. Cl: concentraciones de cloruros. Br: concentraciones de bromuros. SO4:

Los aniones analizados en las muestras tomadas en el ibón de Truchas presentan un comportamiento similar a los cationes, con una marcada homogeneidad entre puntos y una cierta oscilación entre estaciones de muestreo (Figura 13). Los valores más altos se alcanzan en las muestras tomadas durante la estación de otoño. De este modo, en ambos puntos de muestreo se han detectado unas concentraciones de los aniones SO_4^- y Cl^- de 3,6 mg/l y 2,6 mg/l respectivamente, y no se han detectado concentraciones del resto de aniones analizados por encima del límite de detección.

Y, por otro lado, los valores más bajos del total de aniones han sido determinados durante la estación de primavera. Así, los valores analizados de los aniones SO_4^- y Cl^- han sido de 0,7 mg/l y 0,2 mg/l respectivamente en ambos puntos de muestreo, y tampoco han sido detectadas concentraciones de los aniones F^- , Br^- y CN^- por encima del límite de detección.

5.3. Caracterización de distintos parámetros relacionados con los nutrientes y la carga orgánica en las diferentes muestras de agua

Finalmente, en este documento también se incluyen los resultados de distintos parámetros relacionados con los nutrientes y la carga orgánica. A modo de ejemplo, se incluyen los datos relativos al punto de muestreo 1 –situado a 2 m de profundidad- y al punto de muestreo 3 –situado a 12 m de profundidad- del lago de Sabocos durante las estaciones de invierno y verano (Figuras 14 y 15).

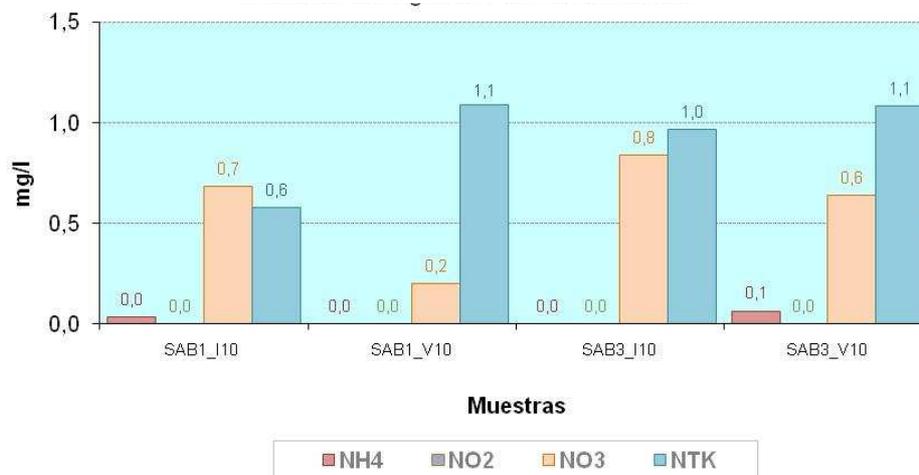


Figura 14. Caracterización de las distintas formas del nitrógeno en las muestras de agua del lago de Sabocos

Leyenda: SAB1: punto 1 situado a 2m de profundidad. SAB3: punto 3 situado a 12m de profundidad. I10: datos relativos a la estación de invierno del año 2010. V10: datos relativos a la estación de verano del año 2010. NH₄⁺: concentraciones del ión amonio. NO₂: concentraciones del ión nitrito. NO₃⁻: concentraciones del ión nitrato. NTK: concentraciones de nitrógeno total Kjeldahl

Los análisis de las distintas formas del nitrógeno realizadas en las muestras de agua tomadas en el lago de Sabocos, muestran las concentraciones más significativas para su forma inorgánica NO₃⁻ y para el NTK, y un pequeño pico de ión NH₄⁺ durante la estación de verano en el punto 3 (Figura 14).

Los valores observados para el parámetro NO₃⁻ muestran una cierta homogeneidad entre estaciones, si bien durante la estación de verano se observan unos valores relativamente menores. Y esta misma tendencia se repite entre puntos de muestreo. De este modo, los valores determinados para este parámetro oscilan entre los 0,2 mg/l determinados en el punto 1 durante la estación de verano (*i.e.*, SAB1_V10) y los 0,8 mg/l determinados en el punto 3 durante esta misma estación (*i.e.*, SAB3_I10).

Los valores observados para el parámetro NTK también muestran un comportamiento homogéneo entre estaciones de muestreo. De este modo, durante la estación de invierno los valores observados han oscilado entre 1,0 mg/l y 0,4 mg/l, y durante la estación de verano entre 1,1 mg/l y 0,8 mg/l.



Figura 15. Caracterización de otros parámetros relacionados con la carga orgánica y nutrientes

Legenda: SAB1: punto 1 situado a 2m de profundidad. SAB3: punto 3 situado a 12m de profundidad. I10: datos relativos a la estación de invierno del año 2010. V10: datos relativos a la estación de verano del año 2010. DBO: concentraciones de Demanda Biológica de Oxígeno. P: concentraciones de fósforo. DQO: concentraciones de Demanda Química de Oxígeno. TOC:

En las muestras de agua tomadas en el lago de Sabocos también se ha realizado la determinación de DQO, DBO, P y TOC (Figura 15). De este conjunto de parámetros, se han determinado concentraciones significativas para la DBO, y dos pequeños picos de P durante la estación de verano en los puntos 1 (i.e., SAB1_V10) y 3 (i.e., SAB3_V10).

Los valores observados para el parámetro DBO muestran una notable heterogeneidad entre estaciones, siendo durante la estación de invierno cuando se observan los valores más bajos. De este modo, durante la estación de invierno el valor observado ha sido 1,0 mg/l para los dos puntos de muestreo, y durante la estación de verano este valor ha ascendido hasta 4,0 mg/l. Finalmente, también destacan dos pequeños picos de P observados durante la estación de verano en ambos puntos de muestreo, de un valor de 0,1 mg/l en ambos casos.

5.4. Evaluación del estado en el que se encuentran según distintas especificaciones propuestas por la Directiva Marco del Agua.

Posteriormente, se han comparado los resultados analíticos obtenidos con los umbrales definidos en función de las especificaciones expuestas en distintos documentos de referencia. A continuación, se incluye una breve descripción de los algunos de los principales documentos revisados (

Tabla 2).

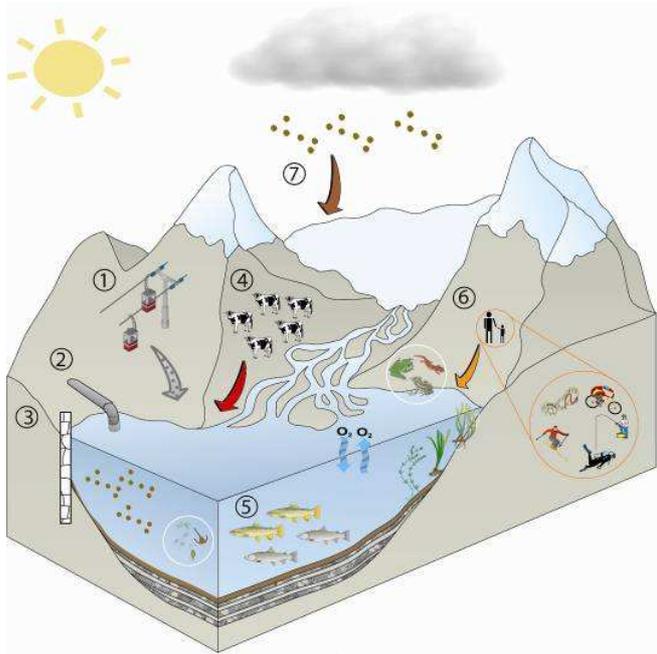
Tabla 2. Descripción de algunos de los principales documentos revisados para la determinación de umbrales

DOCUMENTO	DESCRIPCIÓN
Directiva 2000/60/CE	Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas
Directiva 2006/44/CE	Directiva 2006/44/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de septiembre de 2006, relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces
Directiva 2008/105	Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas, por la que se modifican y derogan ulteriormente las Directivas 82/176/CEE, 3/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE y 86/280/CEE del Consejo, y por la que se modifica la Directiva 2000/60/CE
Directiva 83/513	Directiva 83/513/CEE del Consejo, de 26 de septiembre de 1983, relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad para los vertidos de cadmio
Real Decreto 995/2000	Real Decreto 995/2000, de 2 de junio, por el que se fijan objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes y se modifica el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril.
CHE, 2008	Asistencia técnica para el control del estado de los lagos de la cuenca del Ebro según la Directiva 2000/60/CE, Zaragoza, Confederación Hidrográfica del Ebro

En ninguno de los muestreos se han sobrepasado los límites expuestos en la documentación revisada. Sin embargo, sí que se han denotado indicios de contaminación, que previsiblemente tendría su origen por vía atmosférica, y cuya interpretación exige continuar con estos trabajos con una mayor profundidad (cf., Santolaria *et al.*, 2010).

5.5. Análisis del conjunto de presiones e impactos que inciden en estos ecosistemas

A la hora de destacar las principales presiones a las que se ven expuestos los lagos de montaña pirenaicos, se ha de diferenciar entre alteraciones antrópicas directas y alteración antrópicas indirectas (Figura 16).



PRINCIPALES PRESIONES A LAS QUE ESTÁN SOMETIDOS LOS LAGOS DE ALTA MONTAÑA:

- | | | | | | |
|---|--|-------------------------|---|--|------------------------------------|
| ① | | ESTACIONES DE ESQUÍ | ⑤ | | INTRODUCCIÓN DE ESPECIES ALÓCTONAS |
| ② | | TOMAS DE ABASTECIMIENTO | ⑥ | | ACTIVIDADES RECREATIVAS |
| ③ | | REPRESAMIENTO | ⑦ | | CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA |
| ④ | | GANADERÍA | | | |

Figura 16. Principales presiones a las que se ven expuestos estos lagos de alta montaña (Fuente: elaboración propia).

1.1.1

1.1.2

1.1.3

5.5.1. Alteraciones antrópicas directas

A pesar de su remota localización, los lagos de montaña son afectados por distintas presiones antrópicas directas (cf., Catalan *et al.*, 2006). Históricamente han sido los lagos más accesibles aquellos que han estado sometidos a unas mayores presiones derivadas de la deforestación y la erosión provocada por la actividad ganadera, y más recientemente han sido las explotaciones hidroeléctricas, la introducción de fauna íctica para la práctica de la pesca (Miró y Ventura, 2004), la presencia de estaciones de esquí en sus inmediaciones y los usos turísticos (cf., Arruebo *et al.*, 2009) las principales afecciones a las que se han visto expuestos estos ambientes.

- **La actividad ganadera**

Estos lagos de montaña son utilizados como fuente de suministro de agua para el ganado que, de forma estacional, sube a pastar a la alta montaña (Figura 16). Son fácilmente observables los rebaños de no más de 40-50 cabezas y compuestos principalmente por ganado vacuno, así como sus restos y excrementos en el perímetro cercano al lago (cf., Rodríguez *et al.*, 2009). Como resultado de esta actividad ganadera se podrían incrementar los nutrientes que terminan depositados en el lago, lo que podrían conllevar un incremento del nivel trófico de sus aguas. Como ejemplo donde se practica esta actividad se podría citar el lago de Sabocos o el lago de Escalar.

- **Represamiento**

Entre las distintas alteraciones antrópicas directas, se ha de mencionar el represamiento que han experimentado algunos de estos lagos (Figura 16) para su aprovechamiento hidroeléctrico, o para incrementar el volumen de agua almacenado para su uso pecuario (e.g., Baños; Cabrero, 1999, Del Valle y Rodríguez, 2004).

Las presas que podemos encontrar son de diferentes tipos y, a pesar de que todas modifican el volumen de agua almacenado y el tiempo de residencia de sus aguas, no siempre conllevan una fluctuación notable del caudal interanual. Así, hay algunas que son dinámicas para regular el régimen hidrológico y otras que son estáticas (Del Valle y Rodríguez, 2004)

Independientemente del tipo de presa, esta alteración genera variaciones en el nivel de las aguas, afectando a la biota del litoral y en particular a las comunidades de macrófitos. Además de estos efectos sobre la vegetación, el impacto causado por estas represas en el paisaje también es notable, si bien variable en función de casos. Dependiendo principalmente de su tamaño, encontramos desde pequeños represamientos casi imperceptibles hasta grandes estructuras que rompen la armonía visual del paisaje de alta montaña (Del Valle y Rodríguez, 2004).

- **Introducción de fauna íctica**

La introducción de peces para la práctica recreativa de la pesca es otra de las presiones a las que tradicionalmente se han visto expuestos estos ambientes de montaña (Figura 16). Estos peces alóctonos, situados en algunas ocasiones en lo alto de la cadena trófica como depredadores, puede afectar notablemente a algunas de las especies nativas y típicas de estos ambientes, especialmente a las poblaciones de anfibios. Ejemplos de lagos que actualmente están habitados por peces introducidos son Baños, Sabocos, Truchas o Escalar (Figura 17)

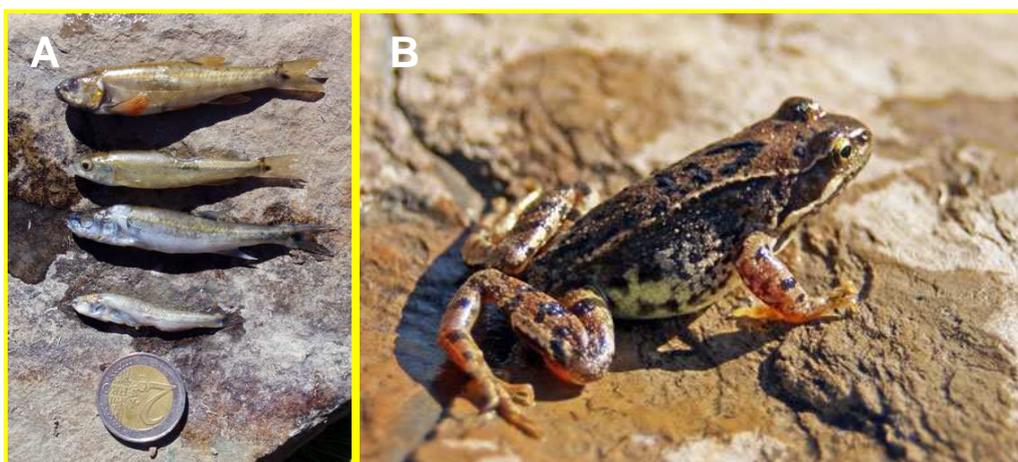


Figura 17. A. Ejemplares muertos de piscardo (*Phoxinus phoxinus*) observados en el lago de Escalar. Esta especie era utilizada antiguamente como cebo para la pesca. B. Ejemplar de rana bermeja (*Rana temporaria*), anfibio típico de estos ambientes. (Fotografías: Alfonso Pardo)

- **Presencia de estaciones de esquí en sus inmediaciones**

Otra de las presiones a las que se ven sometidos estos lagos es la presencia de estaciones de esquí en sus inmediaciones (Figura 16 **Figura**). Éste es el caso de los ibones de Truchas y Escalar, ubicado en las inmediaciones de la estación de esquí de Astún, o el ibón de Sabocos ubicado en las cercanías de la estación de esquí de Panticosa, entre otros. Los principales impactos derivados a los que se ven sometidos estos lagos son la contaminación difusa derivada del incremento de público, tanto durante el periodo invernal como estival, el abandono de desperdicios y otros restos en el lecho y en las inmediaciones, o impactos derivados del mantenimiento de la propia estación de esquí.

- **Actividades turísticas**

Por último, hay que destacar la presión ejercida por el conjunto de actividades turísticas que se desarrollan en las inmediaciones de estos lagos (Figura 16). En este sentido, durante el periodo invernal se ha de destacar el montañismo, el esquí de fondo y de travesía, y en menor número el senderismo y el buceo bajo hielo y en altitud. Y por otro lado, durante el periodo estival, que es cuando hay una mayor afluencia de público, entre las distintas actividades desarrolladas se ha de destacar el montañismo, el senderismo, el turismo de fin de semana, la pesca, bicicleta de montaña, y el buceo en altitud.

Las consecuencias de estos usos recreativos son, en primer lugar, un aumento notable de los residuos depositados en las inmediaciones. El impacto causado de este modo además de ser estético, degradando notablemente la calidad paisajística del lugar, también puede contribuir a acentuar el proceso de eutrofización de las aguas. Además, esta eutrofización de las aguas también puede verse favorecida por la erosión de los márgenes causada por estos usos recreativos (Figura 18).

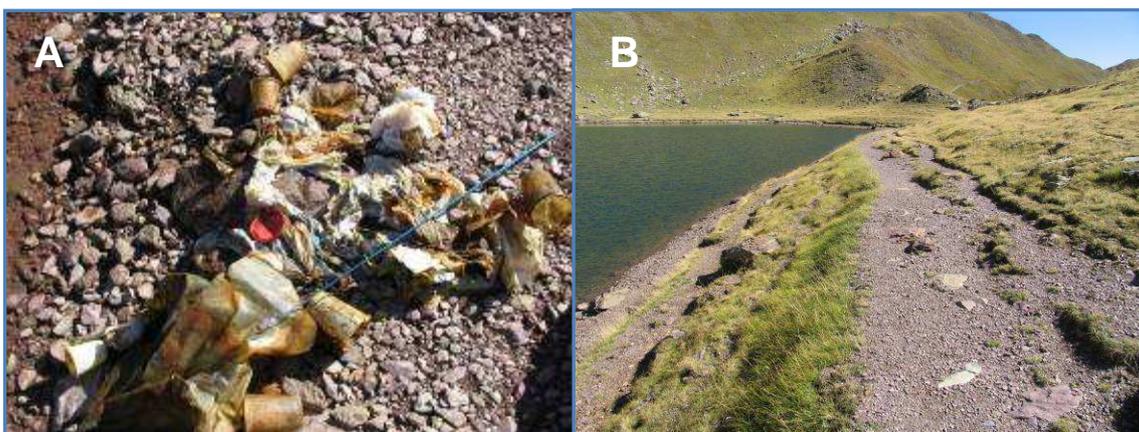


Figura 18. A. Residuos observados en el entorno próximo al lago de Truchas. B. Procesos de erosión consecuencia del tránsito continuado de ganado y personas por el entorno próximo a este lago (Fotografías: Tomás Arruebo).

5.5.2. Alteraciones antrópicas indirectas

Los lagos de montaña se comportan como lugares ideales para obtener información del transporte de los contaminantes grandes distancias a través de la atmósfera. Por ello, las presiones que más ampliamente han sido estudiadas en los últimos años son las alteraciones de su estado natural consecuencia de la presencia de contaminantes procedentes del transporte atmosférico, principalmente compuestos de nitrógeno y azufre, metales traza y compuestos orgánicos (Figura 16). En este estudio no se han tratado estos últimos sino que el objetivo planteado han sido aquellos impactos directos sobre los cuales se puede intervenir mediante medidas de gestión orientadas a la conservación de estos ecosistemas.

5.6. Propuesta de un conjunto de medidas orientadas a la gestión sostenible de estos entornos

A continuación se proponen una serie de medidas de gestión que podrían considerarse apropiadas para conservar estos ecosistemas de forma compatible con el desarrollo de los distintos usos y actividades que en ellos se desarrollan:

- Proteger específicamente estos entornos con una figura legal adecuada, y regular los usos y actividades. La importancia de estos entornos justifica la necesidad de establecer una figura que los proteja legalmente y que regule las distintas actividades que en ellos se desarrollan.
- Realizar una zonificación del conjunto de lagos de montaña del Pirineo Aragonés, con diferentes objetivos de conservación. Puede ser una buena opción para mitigar posibles conflictos entre los intereses de los diversos agentes y colectivos sociales involucrados, de forma que se protejan más estrictamente aquellas zonas que presenten un interés especial, y se regulen las actividades en aquellos otros lugares en los que se puedan desarrollar de un modo compatible con la conservación.
- Limitar la construcción de nuevas obras en el entorno próximo a estos lagos, y fomentar los proyectos de restauración en aquellas zonas más degradadas. Un buen ejemplo sería el convenio marco de colaboración suscrito en el año 2004 por el Gobierno de Aragón, la CHE, Iberca, Endesa y los ayuntamientos locales para recuperar varios lagos de montaña aragoneses (*cf.*, Pardo *et al.*, 2009).
- Limitar el acceso de vehículos salvo en los casos necesarios, con especial atención a aquellos lagos más accesibles.
- Prohibir cualquier vertido directo o la deposición de cualquier residuo en el entorno próximo a estos espacios, y señalizarlo correctamente para que el público en general pueda ser consciente de ello.
- Controlar los lagos en los que se práctica la pesca, y limitar las introducciones que en éstos se realizan.
- Fomentar las actividades de sensibilización y educación ambiental dentro del contexto de estos lagos de montaña, con especial mención a aquellas actividades orientadas a la población local.

- Fomentar las actividades de difusión de los valores naturales de estos lagos a través de los distintos canales de comunicación disponibles, e implicar a los medios en las distintas actividades de conservación desarrolladas en estos entornos.
- Fomentar la participación local en las distintas medidas de gestión que pudieran establecerse en estos entornos.
- Implicar a las estaciones de esquí en la conservación de estos ecosistemas.
- Realizar inventarios de las especies presentes y monitorizar varios lagos para conocer su dinámica y evolución a lo largo del tiempo.
- Fomentar la investigación en estos entornos, con el objetivo de incrementar el conocimiento que tenemos de ellos, predecir su evolución y poder aplicar medidas de gestión con base científica y objetiva.

6. Conclusiones

- Los lagos de alta montaña pirenaicos son unos ecosistemas con un alto valor ecológico, científico y socioeconómico.
- Sin embargo, el conocimiento que actualmente tenemos de estos ecosistemas lacustres es reducido. Por ello, es fundamental continuar con distintas actividades de investigación que permitan disponer de una base científica y objetiva en el proceso de toma de decisiones.
- Los trabajos realizados hasta la fecha han permitido constatar que estos lagos actualmente sufren la presión de distintos usos y actividades cuyas consecuencias todavía desconocemos. Sin embargo, se han observado una serie de malas prácticas sobre las cuales se podría intervenir a nivel de gestión.
- La protección legal de estos entornos podría ser una buena solución para garantizar la regulación de los distintos usos y actividades, y su conservación a lo largo del tiempo.
- Junto con ello, la sensibilización y la educación ambiental han de comportarse como los pilares fundamentales que sustenten cualquier estrategia de conservación.
- Es imprescindible implicar a la población local y a las estaciones de esquí en cualquier propuesta, garantizando que formen parte activamente.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a las ayudas concedidas por el Departamento de Ciencia, Tecnología y Universidad del Gobierno de Aragón a Tomás Arruebo Muñio y a Zoe Santolaria Baringo. Así mismo, los autores desean mostrar su agradecimiento al Instituto Municipal de Salud Pública del Ayuntamiento de Zaragoza, a la Federación Aragonesa de Actividades Subacuáticas (FARAS) – de forma particular a José Manuel Cruz y Jorge Burgos -, a Panticosa Resort, al Ayuntamiento de Panticosa, a Aramon Panticosa, a la Estación Invernal del Valle de Astún, S.A. y al Grupo Especial de Actividades Subacuáticas (GEAS) de la Guardia Civil.

Bibliografía

- ALMODÓVAR, A. y ELVIRA, B. 2000. Clasificación y conservación de los lagos de alta montaña de España según su ictiofauna. *In: GRANADOS, I.yTORO, M. (eds.) Conservación de los Lagos y humedales de Alta Montaña de la Península Ibérica.* Madrid: UAM Ediciones, 201- 206 pp.
- ARRUEBO MUÑO, T.; ARRUEBO AGUILAR, F. T.; PARDO, A.; DEL VALLE, J.; RODRÍGUEZ, C.; SANTOLARIA, Z. y LANAJA, J. 2008. Valoración ambiental de los lagos del Pirineo Aragonés en función de criterios ecológicos, botánicos y herpetológicos: áreas prioritarias para la conservación. *Actas del 9 Congreso Nacional de Medio Ambiente*, 24 pp.
- ARRUEBO, T.; PARDO, A.; RODRÍGUEZ, C.; LANAJA, J. y DEL VALLE, J. 2009. Método específico para la evaluación medioambiental de los lagos de origen glaciar pirenaicos y su aplicación al lago de Sabocos. 164, 135-164 pp.
- BETRÁN, I.; CUCHÍ, J. A. y MANSO, J. A. 1998. Hidroquímica de la cuenca alta del río Gállego (Huesca). *Lucas Mallada: revista de ciencias*, 11, 41-62 pp.
- CABRERO, J. 1999. *Todos los ibones del Pirineo Aragonés*, Huesca, Editorial Pirineo, 255 pp.
- CASADO DE OTAOLA, S. 2000. Ilusiones Alpinas. Los orígenes de la investigación científica sobre lagos y humedales de alta montaña en España. *In: GRANADOS MARTÍNEZ, I.yTORO VELASCO, M. (eds.) Conservación de los Lagos y Humedales de Alta Montaña de la Península Ibérica.* Madrid: UAM Ediciones, 19-32 pp.
- CATALAN, J.; CAMARERO, L.; FELIP, M.; PLA, S.; VENTURA, M.; BUCHACA, T.; BARTUMEUS, F.; DE MENDOZA, G.; MIRÓ, A.; CASAMAYOR, E.; MEDINA-SÁNCHEZ, J.; BACARDIT, M.; ALTUNA, M.; BARTRONS, M. y DÍAZ, D. 2006. High mountain lakes: extreme habitats and witnesses of environmental changes. *Limnetica*, 25(1-2), 551-584 pp.
- CATALAN, J.; CURTIS, C. y KERNAN, M. 2009. Remote European mountain lake ecosystems: regionalisation and ecological status. *Freshwater Biology*.
- CIRUJANO, S.; MEDINA, L.; ARAGONÉS, A. y GARCÍA, P. 1997. Flora acuática de las lagunas y humedales de alta montaña española. *Jornadas sobre la conservación de lagos y humedales de alta montaña de la Península Ibérica*, Libro de resúmenes (34), pp.
- CHUECA, J.; PEÑA, J. L.; LAMPRE, F. y JULIÁN, A. 1998. La Pequeña Edad de Hielo en el Pirineo central meridional: influencias paleoambientales a partir de datos geomorfológicos. *In: GÓMEZ ORTIZ, A.yPÉREZ ALBERTI, A. (eds.) Las huellas glaciares de las montañas españolas.* Universidad de Santiago de Compostela, 193-261 pp.

- DEL VALLE, J. y RODRÍGUEZ, C. 2004. Análisis de la calidad ambiental y paisajística del entorno de los ibones del Pirineo Aragonés. *Actas VII Congreso Nacional de Medio Ambiente* 24 pp pp.
- EHLERS, J. y GIBBARD, P. L. 2004. *Quaternary Glaciations: Extent and Chronology 1: Europe*, Ámsterdam, Elsevier, 488 pp.
- GURUNG, A. B. 2005. *GLOCHAMORE Global Change and Mountain Regions. Research Strategy*, Bern, Mountain Research Initiative, pp.
- LANAJA, F.; ARRUEBO, T.; PARDO, A. y RODRÍGUEZ, C. 2005. Evaluación de la calidad ecológica de un lago glaciar pirenaico (Ibón) afectado por la acción antrópica. *Tecnología del Agua*, 266, 66-72 pp.
- LANAJA, F.; ARRUEBO, T.; PARDO, A.; RODRÍGUEZ, C.; DEL VALLE, J.; HERNÁNDEZ, C. y SANTOLARIA, Z. 2008. Determinación de la Calidad Ecológica de dos lagos de origen glaciar pirenaicos afectados por la acción antrópica: Sabocos y Baños. *Tecnología del Agua*, 302, 66-75 pp.
- LÓPEZ MORENO, J. I. 2000. *Los glaciares del alto valle del Gállego (Pirineo central) desde la Pequeña Edad de Hielo. Implicaciones en la evolución de la temperatura*, Logroño, Geoforma Ediciones, 77 pp.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnología*, Barcelona, Editorial Omega, 1010 pp pp.
- MIRÓ, A. y VENTURA, M. 2004. Història de la truita i altres peixos en el estanys del Parc Nacional d'Aiguestortes i Estany de Sant Maurici. *VI Jornades de recerca en el Parc nacional d'Aiguestortes i Estany de Sant Maurici Nacional Park*, 187-208 pp.
- OERTLI, B.; INDERMUEHLE, N.; ANGÉLIBERT, S.; HINDEN, H. y STOLL, A. 2008. Macroinvertebrate assemblages in 25 high alpine ponds of the Swiss National Park (Cirque of Macun) and relation to environmental variables. *Hydrobiologia*, 597, 29 – 41 pp.
- PARDO, A. y RODRÍGUEZ, C. 2007. Diseño, construcción y prueba de la botella CRALF de muestreo puntual de agua para uso manual en entornos subacuáticos. *Tecnología del Agua*, 285, 50-57 pp.
- PARDO, A.; RODRÍGUEZ, C.; DEL VALLE, J. y ARRUEBO, T. 2009. Acciones de protección y sensibilización medioambiental en los ibones del pirineo aragonés en la década 1999-2009: descripción, análisis y consecuencias. *II Congreso Internacional de Turismo Sostenible de Montaña, Huesca*, 25 pp.
- PASCUAL, M.; RODRÍGUEZ, A.; HIDALGO, J.; BORJA, F.; DÍAZ DEL OLMO, F. y MONTES DEL OLMO, C. 2000. Distribución y caracterización morfológica y morfométrica de los lagos y lagunas de alta montaña de la España peninsular. In: GRANADOS, I. y TORO, M. (eds.) *Conservación de los Lagos y Humedales de Alta Montaña de la Península Ibérica*. Madrid: Ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid, 51 – 77 pp.

- PRAT, N.; REAL, M. y RIERADEVALL, M. 1992. Benthos of spanish lakes and reservoirs. *Limnética*, 8, 221-229 pp.
- PUYAL, M. A.; CUCHÍ, J. A. y MANSO, J. A. 1998. Hidroquímica de las aguas naturales del Pirineo Aragnés. *Lucas Mallada: revista de ciencias*, 10, 173-187 pp.
- RODRÍGUEZ, C.; ARRUEBO, T. y PARDO, A. 2009. *Modelo de gestión para espacios naturales de alto interés ecológico: lagos de alta montaña (ibones)*, Zaragoza, Publicaciones del Consejo de protección de la Naturaleza de Aragón, 282 pp. pp.
- SANTOLARIA, Z.; ARRUEBO, T.; URIETA, J.; LANAJA, J.; PARDO, A.; DEL VALLE, J. y RODRÍGUEZ, C. 2010. Water quality status of three high mountain lakes located in the Spanish Pyrenees. *7º Congreso Internacional de la ANQUE*. Oviedo.
- TABOADA TUNDIDOR, J. 1913. El lago de San Martín de Castañeda. *Boletín de la Real Sociedad de Historia Natural*, 13, 359-387 pp.