



## Origen, características ambientales y ecológicas de los ibones aragoneses: efectos de la actividad humana en ellos

**Autor:** Alfonso Pardo Juez

**Institución:** Fundación Boreas - Universidad de Zaragoza - FARAS

**Otros autores:** Tomás Arruebo (Fundación Boreas / Universidad de Zaragoza); Zoe Santolaria (Universidad de Zaragoza); Javier Lanaja Universidad de Zaragoza); José Urieta (Universidad de Zaragoza); Carlos Rodríguez (Fundación Boreas / Universidad de Zaragoza); Jesús Betrán (Universidad de Zaragoza); José María Matesanz (Universidad de Zaragoza); Jorge Burgos (Federación Aragonesa de Actividades Subacuáticas); José Manuel Cruz (Federación Aragonesa de Actividades Subacuáticas); Javier Del Valle (Fundación Boreas / Academia General Militar)

## Resumen

Los ibones, lagos glaciares del Pirineo, son unos ecosistemas singulares originados por el modelado glacial ocurrido durante el Pleistoceno. Debido a su localización en la alta montaña y a su aislamiento, estos ecosistemas dulciacuícolas pueden albergar organismos endémicos. En ellos es posible observar con detalle las diversas relaciones de sus comunidades ecológicas y su reacción a los cambios medioambientales, así como los signos de estrés ambiental que la actividad humana produce sobre estos entornos montanos.

**Palabras claves:** lago glaciar, ibón, glaciación, Pirineos, Aragón, química del agua, ecología, impacto antrópico

## Abstract

Pyrenean tarns -dubbed “ibones” in Aragón- are singular ecosystems closely related to the Pleistocene glacial dynamics. Due to its location and isolation in the high mountains these freshwater ecosystems can harbor endemic organisms. There, it is possible to monitor distinctive relationships of their ecological communities and their response to environmental changes, along with the signs of environmental stress caused by human activity on these mountain environments.

**Key-words:** tarn, ibón, Pyrenees, glaciation, Aragón, water chemistry, ecology, anthropic impact.

## Introducción

Los lagos de origen glaciar, denominados *ibones* en lengua aragonesa, se encuentran entre los más frágiles y singulares ecosistemas acuáticos que existen en el Pirineo (Rodríguez *et al.*, 2009). Estos entornos son el resultado de la intensa dinámica climática y geológica del Pleistoceno que ha modelado la zona septentrional de la Península Ibérica, y constituyen unos parajes naturales de unas características excepcionales en los ambientes de la alta montaña que ocupan.

De los 406 lagos existentes en España, el Pirineo Aragonés reúne un censo de 197 lagos de origen glaciar lo que constituye una de las mayores concentraciones de este tipo de cuerpos lacustres de toda la Península Ibérica (Del Valle y Rodríguez, 2004, Rodríguez *et al.*, 2009; Fig. 1).

Los ibones altoaragoneses presentan un indudable interés desde la perspectiva económica (*e.g.*, turística y energética), humana, así como científica. Desde ésta última, es importante señalar que son una valiosa fuente de información de la evolución climática más reciente del Pirineo, como lo demuestran los diversos estudios paleoclimáticos realizados en estos ambientes, en relación con los lagos de la Península Ibérica (*cf.*, Chueca *et al.*, 1998; Corella *et al.*, 2010; Larrasoana *et al.*, 2010; Valero y Moreno, 2011).

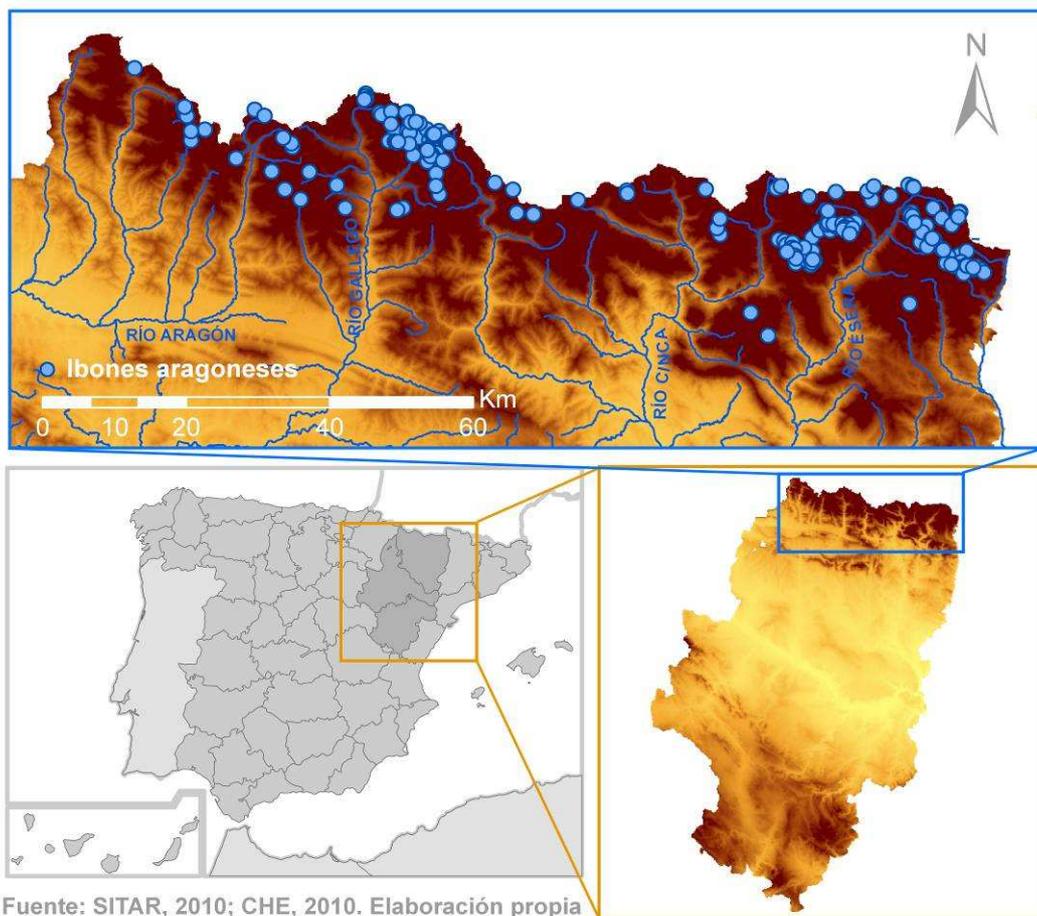


Figura 1. Mapa de localización de los principales ibones del Pirineo Aragonés (Fuente: elaboración propia).

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 de la actividad humana sobre el medio ambiente montano (Margalef, 1983). Del mismo modo, su localización geográfica –habitualmente por encima de los 1700 m (Del Valle y Rodríguez, 2004)- da lugar a unas condiciones ambientales extremas y particulares. Esto ejerce una notable influencia sobre su biocenosis y favorece la presencia de distintos endemismos de alto valor para la ciencia, como el tritón pirenaico (*Euproctus asper* Dugès, 1852) o la lagartija pirenaica (*Iberolacerta bonnali* Lantz, 1927).

Si el valor de los ibones resulta incuestionable para diversas disciplinas científicas y para el mejor conocimiento de la evolución geológica, climática y ecológica del Pirineo, no por ello debe desestimarse su enorme interés socioeconómico. Los ibones 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, Rodríguez *et al.* 2009; Pardo *et al.*, 2010).

### 1.1. Las glaciaciones del Cuaternario en el Pirineo

El geofísico serbio Milutin Milankovitch (1879-1958) propuso en 1938 una explicación basada en la periodicidad de determinados procesos astronómicos como proceso generador de las oscilaciones climáticas que originan las glaciaciones. Ésta es la teoría más aceptada hoy día entre los especialistas en climatología y geomorfología (Milankovitch, 1969; Pedraza, 1996; Tarbuck y Lutgens, 1999; Strahler y Strahler, 2000).

La teoría, conocida como *Ciclos de Milankovitch*, establece tres factores astronómicos clave como agentes reguladores de los ciclos glaciares, los cuales están bien establecidos por observaciones astronómicas (Milankovitch, 1969; Strahler y Strahler, 2000):

- Evolución de la excentricidad orbital de la tierra alrededor del Sol con una periodicidad de unos 100.000 años.
- Fluctuación de la inclinación del eje de rotación terrestre con un período de 41.000 años.
- Variación de la precesión de los equinoccios presenta un doble ciclo de 23.000 años y de 19.000 años.

La conjunción de una menor inclinación del eje, una gran excentricidad y que la mayor distancia al Sol se produzca en diciembre daría lugar a un mínimo de insolación y por tanto, un mínimo térmico, propiciando la extensión de los glaciares.

Las glaciaciones son el fenómeno climático más significativo del actual periodo geológico, el Cuaternario, que se divide en dos épocas: Pleistoceno y Holoceno. Durante el Pleistoceno se han producido cuatro glaciaciones principales, denominadas Günz, Mindel, Riss y Würm en referencia a los ríos donde se determinaron las observaciones de estas fluctuaciones climáticas, separadas por otros tantos periodos interglaciares (Ehlers y Gibbard, 2004).

La diferencia de la temperatura media entre un periodo glaciario y uno interglaciario es de unos 4°C a 7°C, pero el efecto de esta fluctuación térmica es suficiente para que los glaciares avancen en dirección al ecuador o retrocedan varios cientos de kilómetros. Estos cambios en la masa de hielos afectan al nivel del mar, que puede subir o bajar varias decenas de metros, a los caudales de los ríos, la distribución de las lluvias y, en general, a todo el ciclo climático.

Los primeros estudios acerca de las diferenciaciones glaciares en el Pirineo estuvieron basados en modelos establecidos en los Alpes a principios del siglo XX. En esa misma época, autores como Obermaier, Carandell, Vidal Box o Hernández-Pacheco, sentaron las bases del estudio de la morfología glaciaria en la Península Ibérica (Pedraza, 1996). Posteriormente, en la segunda mitad del siglo XX, a partir de los estudios de Barrère (1963) sobre el sistema pirenaico, empezaron a estudiarse los diferentes arcos morrénicos correspondientes al periodo *Würmense*. Es a partir de 1970 cuando comenzaron a publicarse multitud de estudios sobre las glaciaciones y a conocerse con profundidad los distintos procesos que en ellas se daban (López Moreno, 2000). Estos estudios indican que la longitud que presentaban los glaciares pirenaicos venía influida principalmente por la ubicación de los valles respecto a los vientos húmedos del Atlántico, y por las dimensiones y altitudes de cabecera (García y Martí, 1994).

El paulatino calentamiento climático ha propiciado que los glaciares pirenaicos hayan experimentado un intenso retroceso desde el siglo pasado, con un notable incremento de la fusión en las décadas de 1980 y 1990. En los últimos cien años se han perdido en el Pirineo Aragonés alrededor de 1.100 ha de hielo. Por las primeras mediciones de *Schrader* en 1894 se calculó una extensión de más de 1.500 ha para los glaciares aragoneses. En la actualidad, su superficie no llega a las 400 ha, lo que ha supuesto la desaparición definitiva de algunos de ellos (Mendivil, 2003).

Los glaciares están hoy recluidos en las áreas mejor orientadas respecto a la alimentación nival y la insolación, es decir al Norte y Nordeste. Sus márgenes se encuentran limitados por resquicios glaciares, al presentarse en el interior de circos, bajo pronunciadas crestas, y su localización raramente se posiciona a una altitud inferior a 2700 m. El glaciario surpirenaico queda limitado a 3,67 km<sup>2</sup> de hielo, ubicados en cuatro grandes macizos pirenaicos al sur de la divisoria hidrológica natural: Infiernos, Monte Perdido, Posets y Maladeta, que presentan un total de 13 aparatos glaciares (López Moreno, 2000).

## 1.2. El origen de los ibones pirenaicos

La génesis de los lagos de origen glaciar, o ibones, está íntimamente relacionada con la dinámica del hielo durante las glaciaciones. En los periodos de máxima extensión glaciar, el movimiento gravitatorio de la masa de hielo ejerce una presión *glacioestática* vertical en el suelo de los circos de montaña donde se acumula la nieve y el hielo produciendo la fragmentación del sustrato rocoso. Este proceso de fracturación del lecho es más acusado en aquellos lugares donde se produce una disminución abrupta de la pendiente. Una vez fragmentada la roca, la lengua glaciar produce un proceso erosivo de arranque de material denominado *plucking* por el que se excava el fondo dando lugar a una cubeta (Pedraza, 1996; López Moreno, 2000). En la posterior etapa interglaciar se produce el retroceso de las lenguas y mantos glaciares abandonando los cordones morrénicos frontales y produciendo el desagüe y la inundación de las distintas cubetas que han quedado libres de hielo (Holmes y Holmes, 1987). De este modo, la acción conjunta de ambos factores justificaría la presencia de estos sistemas lacustres durante estas etapas interglaciares.

Holmes y Holmes (1987), establecen una serie de posibles orígenes para los lagos glaciares:

- Oquedades excavadas por el hielo en zonas de estructura variada, como cuencas rocosas en valles o cabeceras de estos, y de antiguas divisorias con presencia o no de orlas morrénicas.
- Depresiones derivadas de irregularidades superficiales de aluviones glaciales.
- Cubetas dejadas al fundirse el hielo estancado, enterradas bajo aluviones fluvioglaciales denominados *kettle lakes* con profundidades que rara vez superan los 10 m (Tarbuck y Lutgens, 1999).
- Valles obstruidos por barreras de hielo.

Durante la etapa interglaciar el agua de deshielo moviliza grandes cantidades de sedimentos hacia los lagos glaciares. Estos flujos de agua y sedimentos al disminuir la pendiente y su velocidad, se depositan en conos de deyección que modifican el contorno original y las orillas de los lagos glaciares, o en forma de láminas de sedimento de grano fino que comienza a rellenar sus fondos. Si transcurre suficiente tiempo, los ibones terminan colmatándose transformándose en turberas o praderas de alta montaña, terminando su ciclo de vida hidrológica.

El proceso de erosión y formación de nuevas cubetas de sobreexcavación glaciar que darán lugar a una nueva generación de ibones se reactiva cuando se inicia un nuevo periodo glaciar. Desde una perspectiva temporal, los 197 ibones del Pirineo Aragonés tuvieron un mismo origen. Su génesis como lagos glaciares tuvo lugar hace unos 10.000 años, en el tránsito del último periodo glacial – Würm - al actual interglaciar (Pascual *et al.*, 2000; Ehlers y Gibbard, 2004), y constituyen, por tanto, la última y más reciente generación de ibones.

En Aragón se pueden diferenciar tres grandes zonas con abundante presencia de ibones, distribuidas en los macizos de Panticosa, Posets y Maladeta, correspondiendo estos dos últimos a la "Ball de Benás". De entre los ibones más característicos y conocidos situados en torno al Macizo de la Maladeta, al NE de Benasque, destacan el de Villamuerta Alto y Baixo, Llosás, Ballibierna, Renclusa, Gorgutes, Alba, Collada de Toro, Barrancs, Escaleta, Carones y Cregüeña. La parte noroccidental del valle circundante también recoge numerosos ibones, entre los que cabe destacar Batisielles, Barbarisa, Escarpinosa, Batisielles Alto, Alforches-Plan dels Ibons, Bagüeña, Perramó o Bardamina (Mendivil, 2003; Rodríguez *et al.*, 2009).

### **1.3. El medio ambiente de los ibones**

Los lagos de montaña del Pirineo se caracterizan por ser sistemas relativamente pequeños, ambientes oligotróficos, con baja concentración de sales disueltas en sus aguas y con una productividad fitoplanctónica limitada que propicia una alta transparencia en sus aguas (Catalán *et al.*, 2006). En este marco general, se puede decir que su funcionalidad está influenciada principalmente por las condiciones climáticas de la zona y por las características químicas de sus aguas (Catalán *et al.*, 2009).

#### **1.3.1 Estratificación y dinámica térmica**

Los lagos de origen glaciar de los Pirineos se suelen clasificar como de tipo dimíctico (CHE, 2006), caracterizados por presentar estratificación en la columna de agua durante dos periodos del año, invierno y verano, y dos periodos de mezcla de su volumen líquido durante la primavera y el otoño (Smith y Smith, 2001; Boehrer y Schultze, 2008; Fig. 2).

De los 197 lagos censados nos encontramos algunos estacionales, otros someros y otros más profundos, llegando incluso a los 100 m de profundidad, como en el caso del ibón de Cregüeña. Es en estos últimos donde podemos encontrar este tipo de estratificación.

En verano, la energía solar calienta el agua superficial del lago. El resultado es una capa superficial de agua, denominada epilimneon, más caliente y menos densa que el resto del lago, y un gradiente térmico que penetra hacia el interior hasta alcanzar la termoclina, punto de inflexión del perfil de temperaturas que marca la zona de transición denominada metalimneon. Finalmente, por debajo de la termoclina se sitúa el resto de la masa de agua, caracterizada por presentar una temperatura baja y homogénea, y a la que se le denomina hipolimneon (Smith y Smith, 2001; Boehrer y Schultze, 2008).

Los periodos de mezcla se producen gracias a la acción combinada de los vientos y la temperatura. En otoño y primavera la temperatura del epilimneon se enfría o calienta respectivamente hasta ser similar a la del hipolimneon con lo que su densidad aumenta y tiende a hundirse. Esta tendencia se amplifica por la acción del viento, que genera turbulencias en la superficie de la masa de agua. El resultado es que la estratificación del lago desaparece y se produce la mezcla de agua en toda la cubeta.

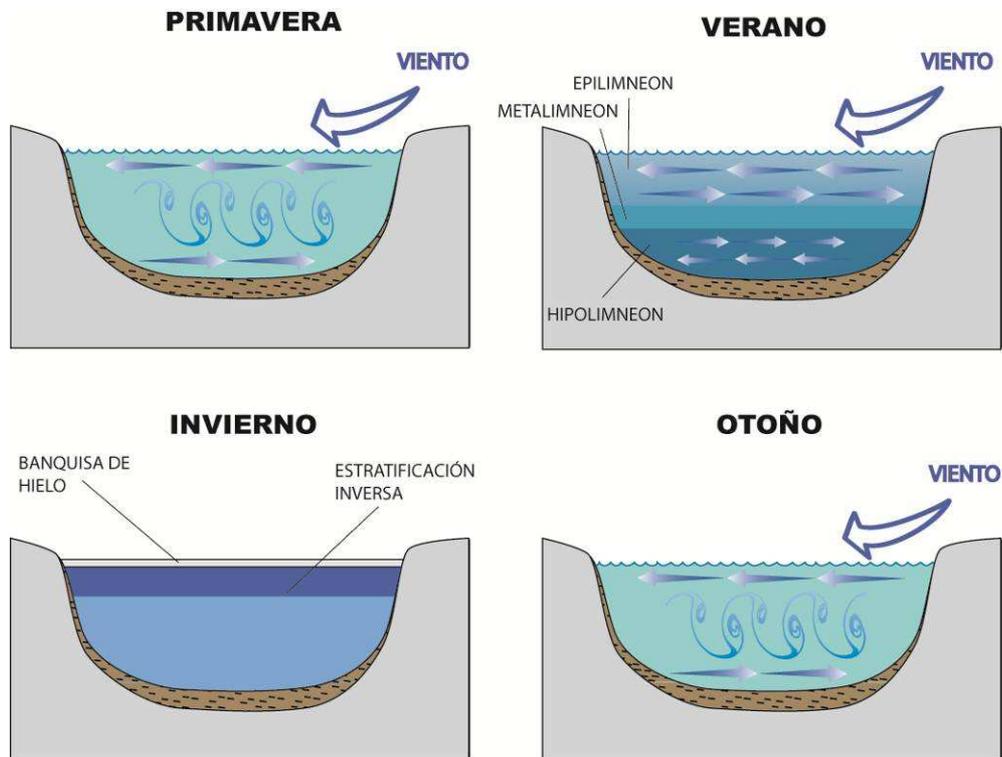


Figura 2. Esquema de las fluctuaciones en la columna de agua de un ibón durante el ciclo anual, con estratificación en la columna de agua durante el invierno y verano, y mezcla y oxigenación durante la primavera y el otoño (Fuente: elaboración propia; librería de símbolos cortesía de IAN, 2011).

Durante el periodo invernal, la temperatura de la capa superficial de agua desciende por debajo de los  $0^{\circ}\text{C}$  y el lago queda cubierto por una cubierta de hielo denominada banquisa. El agua alcanza su máxima densidad cuando está a una temperatura cercana a los  $4^{\circ}\text{C}$ , por lo que durante este periodo del año se produce una estratificación inversa, aumentando la temperatura a medida que se incrementa la profundidad. De este modo, el perfil de temperaturas muestra un aumento en profundidad desde unos valores próximos a los  $0^{\circ}\text{C}$  en las zonas más superficiales hasta valores en torno a los  $4^{\circ}\text{C}$  a partir de una cierta profundidad (cf., Granados y Toro, 2000).

Una vez consolidada, esta banquisa invernal presenta una compleja estructura de capas de nieve, hielo y agua-nieve en equilibrio hidrostático (cf., Catalán, 1989, Granados y Toro, 2000, Granados *et al.*, 2006). Así, la presión generada por la capa de hielo y la nieve acumulada en su parte superior empuja el conjunto hacia abajo, provocando que el agua líquida emerja a través de los poros y grietas de la capa de hielo y sature la capa de nieve más próxima a la superficie. Esta nueva capa puede llegar a congelarse de nuevo, formando una nueva capa de hielo, y este proceso puede repetirse sucesivamente a lo largo del invierno dando como resultado este complejo estructural.

La duración de esta banquisa invernal varía entre zonas, y depende fundamentalmente de las temperaturas primaverales (Thompson *et al.*, 2005). En el Pirineo, el máximo espesor de hielo ocurre en primavera y posteriormente comienza una fase de derretimiento desde la parte superior hacia las capas inferiores. Durante la fase de derretimiento, el deshielo de la cuenca mantiene un flujo de agua sobre el lago que, en ocasiones, se puede propagar entre distintas capas de la compleja estructura (Catalán *et al.*, 2006).

### **1.3.2. La química de las aguas y su relación con los aspectos edáficos y geológicos**

A grandes rasgos, los Pirineos están constituidos por los siguientes grupos de rocas: plutónicas -fundamentalmente granitos y granodioritas-, sedimentarias de precipitación química -calizas y dolomías-, sedimentarias detríticas -con un predominio de areniscas y lutitas-, metamórficas -pizarras y esquistos-, y menos frecuentemente rocas volcánicas -e.g., andesitas- (cf., Solé, 1951; Banda, y Wickham, 1986; Vissers, 1992).

Las características químicas de las aguas dependen principalmente de la naturaleza de las rocas que atraviesan y de la actividad edáfica de los suelos circundantes, y en menor medida de la deposición atmosférica. Margalef (1983), observa una baja conductividad para aquellas aguas que discurrían con cubierta granítica y más alta en aquellas asentadas sobre materiales calizos, mucho más solubles. En general, se han encontrado grandes diferencias entre la química de las aguas de lagos que se asientan sobre diferentes litologías debido a los diferentes procesos que meteorización y adeafización que sufren los distintos materiales litológicos (Brady y Weil, 2008; Camarero *et al.*, 2009).

Los suelos en las laderas y cuencas circundantes donde se asientan los lagos influyen de forma notable en la química de sus aguas, al actuar como un complejo almacén e intercambiador de cationes y en menor medida de aniones, reteniendo o liberando cationes meteorizados de la roca madre o transportados y depositados por vía atmosférica o por escorrentía. La concentración de cationes calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) viene determinado fundamentalmente por la meteorización de la roca madre. El porcentaje de ambos cationes es fundamental para determinar el valor de la alcalinidad de las aguas, que mide la capacidad del lago para neutralizar ácidos. Debido a la alta solubilidad de calizas y dolomías, principales fuentes litológicas de Ca y Mg, es posible predecir la alcalinidad de las aguas en lagos que se asientan sobre terrenos calizos (Catalán *et al.*, 2006). De la misma manera, a partir de la litología se puede hacer una estimación del pH natural y compararlo con una medida experimental para observar en qué medida puede estar un lago afectado o no por la acidificación. En cuanto a los aniones, la mayoría poseen también aportes atmosféricos, aunque en el caso del sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ), en concentraciones mayores de 50  $\mu\text{eq/l}$  se puede considerar que su origen es únicamente geológico. En cambio en concentraciones menores, se considera la deposición atmosférica del sulfato (Camarero *et al.*, 2009). El silicio (Si) es otro elemento que sólo alcanza las aguas a partir de la meteorización litológica. Debido a que las distintas especies de rocas silicatadas presentan un amplio rango de estabilidad a los procesos de meteorización, la cantidad de Si disuelta varía enormemente dependiendo de los factores ambientales del entorno del lago (Brady y Weil, 2008).

Los parámetros más útiles para evaluar la actividad de un suelo son su capacidad de intercambio catiónico (CIC ó CEC) y su porcentaje de saturación de bases (BS% ó  $V = S/CIC \times 100$ , donde  $S = Ca^{++} + Mg^{++} + Na^+ + K^+$ ; Porta *et al.*, 2003; Catalán *et al.*, 2006; Brady y Weil, 2008). Así, las predicciones realizadas de la CEC y del BS% a partir del muestreo en 13 cuencas de los Pirineos, seleccionadas para tener una representación de las principales litologías y tipologías de aguas de lagos pirenaicos, permitió a Catalán *et al.* (2006) modelizar las características químicas de las aguas de los lagos y predecir el CIC de sus suelos a partir del carbón orgánico total (TOC).

La actividad biológica de los suelos también influye en la química de las aguas. En estudios realizados en los Pirineos se ha encontrado una correlación positiva entre el porcentaje de la cuenca cubierta por suelo y el carbono orgánico disuelto (DOC), el nitrógeno orgánico disuelto (DON) y el fósforo total (TP), mientras que esta correlación es negativa con el ion nitrato ( $NO_3^-$ ; Catalán *et al.*, 2006).

Finalmente, las aportaciones en forma de aerosoles marinos vendrán condicionadas por la distancia al mar y por la altitud, y la deposición atmosférica antropogénica también influirá en las concentraciones de  $NO_3^-$  determinadas en sus aguas (Camarero *et al.*, 2009)

### **1.3.3. El estado trófico de estos sistemas**

Los lagos de montaña suelen comportarse como sistemas lacustres oligotróficos (Battarbee, 2005), y en el caso concreto de la cordillera pirenaica también suelen catalogarse del mismo modo (CHE, 2006, CHE, 2007, CHE, 2008), si bien se han constatado algunas excepciones debido a su elevada antropización (Lanaja *et al.*, 2005, Lanaja *et al.*, 2008; Arruebo *et al.*, 2009). Por tanto, *a priori* y generalizando, se puede prever que durante todo el año las concentraciones de N y P serán bajas, la producción primaria escasa y la concentración de oxígeno bastante elevada.

### **1.3.4. Comunidades bióticas**

Los ibones son ecosistemas generalmente aislados por barreras medioambientales infranqueables para la mayor parte de su fauna. Junto a sus características geográficas destacan otros aspectos ambientales típicos de estas zonas, como las bajas temperaturas, los escasos nutrientes y los elevados niveles de radiación UV. Todo ello hace que estos sistemas lacustres sean difícilmente colonizados por nuevos organismos y que los organismos presentes sean especialistas intensamente adaptados a estos ambientes tan particulares (Catalán *et al.*, 2006). En este sentido tienen una dinámica similar a islas oceánicas.

La zona fótica de la columna de agua es el territorio de una de las principales comunidades biológicas de estos sistemas, el plancton. El fitoplancton, junto con las plantas superiores o macrófitos, constituyen los principales productores primarios (Smith y Smith, 2001). En el Pirineo la comunidad fitoplanctónica está compuesta principalmente por criptomonadales, diatomeas (i.e., *Asterionella* sp., *Cyclotella* sp., *Diatoma* sp., *Tabellaria* sp., *Melosira distans*, *Fragilaria crotonensis* y *Synedra* sp.), y en ocasiones también por altas concentraciones de crosóficeas y diversos dinoflagelados (Margalef, 1983). Las algas verdes suelen ser abundantes durante el periodo estival, representadas por los géneros *Sphaerocystis*, *Paulschulzia*, *Oocystis*, *Ankistrodesmus*, *Tetraedron* y *Staurostrum* y otras desmidiáceas (Margalef, 1983).

El zooplancton está compuesto por consumidores primarios, que se alimentan de las especies vegetales que componen el fitoplancton, y por consumidores secundarios cuya principal fuente de alimento son otros organismos zooplanctónicos o bacterias. En los lagos pirenaicos las principales especies que aparecen representadas son fundamentalmente los crustáceos *Cyclops abyssorum* y *Daphnia longispina*, y los rotíferos, *Asplanchna priodonta* y *Kellicottia longispina* (Miracle, 1978).

Los macrófitos son otro de los principales productores primarios de estos sistemas. En torno al 70% de los lagos del Pirineo contienen vegetación acuática y, en general, su comunidades se caracterizan por ser pobres en especies con un predominio de isoetales (Gacía *et al.*, 1994). De este modo, las principales especies representadas son *Isoetes lacustres* e *Isoetes echinospora*, y otros macrófitos presentes son *Myriophyllum alterniflorum*, *Subularia angustifolium*, *Callitriche palustris*, y especies de los géneros *Nitella* sp., *Potamogeton* sp. y *Ramunculus* .sp (Gacía *et al.*, 1994, Gacía *et al.*, 2009).

Dentro de la fauna que habita en estos lagos destacan las comunidades bentónicas, compuestas por aquellos organismos epibentónicos que viven sobre la superficie del lecho o endobentónicos enterrados en el mismo (Smith y Smith, 2001). La comunidad de macroinvertebrados bentónicos de estos lagos se caracteriza por presentar un predominio de quironómidos y oligoquetos (*cf.*, de Mendoza y Catalán, 2010). Entre los oligoquetos, las familias más frecuentes y abundantes son Naididae y Enchytraeidae, y entre los quironómidos las subfamilias Orthocladiinae y Chironominae.

Muchos de estos organismos son sensibles a posibles cambios introducidos en el ecosistema por lo que habitualmente son empleados como bioindicadores. Entre las distintas presiones a las que son sensibles estos organismos destacan: la contaminación térmica, el incremento de metales pesados, la contaminación orgánica y la eutrofización, la alteración de la morfología del lecho o la alteración del régimen de caudales, entre otras (CHE, 2005).

En los niveles tróficos superiores, el siguiente grupo taxonómico destacable es la ictiofauna. De los 82 lagos pirenaicos estudiados por Buchaca y Catalan (2008), el 72% estaban habitados por peces. Los peces que habitan estos lagos se consideran introducidos, ya que en la mayoría de los casos su presencia únicamente puede ser atribuida a reintroducciones artificiales (ACA, 2006, Buchaca y Catalan, 2008). La existencia de barreras naturales, fuertes pendientes y tramos subterráneos de muchos de los torrentes de alta montaña impide la colonización natural de la mayoría de estos lagos por las especies piscícolas (Catalán *et al.*, 2006).

Actualmente, las principales especies piscícolas que podemos encontrar son la trucha común (*Salmo trutta*; Buchaca y Catalan, 2008), y algunos ciprínidos como el piscardo (*Phoxinus phoxinus*) y la bermejuela (*Rutilus arcasii*). Junto a éstos, se han de mencionar algunas especies salmonícolas como la trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) o el salvelino (*Salvelinus fontinalis*; Almodóvar y Elvira, 2000).

Finalmente, el principal grupo de vertebrados autóctonos que habitan en los ibones son los anfibios. En los ibones de Aragón se ha citado la presencia de salamandra común (*Salamandra salamandra*), sapo partero (*Alytes obstetricans* Laurenti), sapo común (*Bufo bufo* Linnaeus), rana bermeja (*Rana temporaria* Linnaeus), tritón pirenaico (*Calotriton asper* Dugès) y tritón palmeado (*Lissotriton helveticus* Razoumowsky; cf., Arruebo *et al.*, 2008).

De entre todas estas especies, merece la pena destacar algunas por su alta singularidad, como el tritón pirenaico, el sapo partero común y la rana bermeja, especies consideradas de Interés Especial en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas. Y también hay que destacar la presencia de la salamandra común y del sapo común, ambas consideradas de Interés Especial en el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón.

#### **1.4. La relación del hombre con estos entornos**

La relación del hombre con estos ecosistemas se remonta al inicio de los asentamientos humanos en la montaña. Los usos hidrológicos y ganaderos que históricamente se hacía de estos entornos, han dado paso en las últimas décadas a distintas actividades turísticas, educativas y recreativas. En ocasiones, estas actividades han sido responsables de tensiones y ciertos desequilibrios en estos ecosistemas.

Sin embargo, durante los últimos años se ha producido un interesante fenómeno social de valoración de los ibones como entornos naturales y turístico-deportivos de calidad. Así, diferentes iniciativas de colectivos ciudadanos, empresas e instituciones, han tratado de reducir los impactos, corregir las malas prácticas y revertir algunas de las alteraciones producidas durante décadas (Pardo *et al.*, 2010).

##### **1.4.1. El impacto del ser humano en los lagos de origen glaciar del Pirineo**

Los lagos de montaña son entornos ideales para estudiar los impactos causados por los cambios en los patrones ambientales globales y por la acción del ser humano. Sus cuencas suelen ser pequeñas, con escaso desarrollo edáfico y de vegetación. Habitualmente presentan fuertes pendientes, lo que favorece que los contaminantes depositados en ellas sean transferidos rápidamente a las masas de agua de los lagos. Además, sus aguas son muy diluidas y transparentes, con escasa concentración de nutrientes, y presentan una escasa resiliencia. Por ello, su red trófica, muy simple, sufre rápidamente afecciones ante cualquier alteración (Battarbee, 2010).

Los lagos de montaña cuya situación es más remota, no sufren las consecuencias de la presión ganadera, sus cuencas de aporte no presentan ningún tipo de asentamiento humano, y apenas son visitados por un número muy reducido de personas (Battarbee, 2005). Estos ecosistemas no sufren apenas afecciones directas, su estado esperable sería prístino, y por ello se comportan como unos enclaves ideales donde estudiar la contaminación proveniente del transporte atmosférico, principalmente la acidificación de

sus aguas (e.g., Curtis, *et al.*, 2005; Raut, *et al.*, 2012), la contaminación por metales pesados (e.g., Bacardit, 2011) o el incremento de los compuestos orgánicos persistentes (e.g., Gallego, *et al.*, 2007).

Sin embargo, existen otros lagos de montaña más accesibles, que son visitados por un número elevado de personas y que su entorno se encuentra modificado por la acción humana. Estos ecosistemas, igualmente frágiles y singulares, si están sometidos a las presiones e impactos directos de las actividades humanas. Históricamente, las principales afecciones que han sufrido algunos de estos lagos han sido la carga de la actividad ganadera, el represamiento de su cauce para un aprovechamiento hidroeléctrico o para abastecer el ganado, la introducción de fauna alóctona – especialmente peces-, las estaciones de esquí, la modificación de sus caudales para la captación de agua, o el incremento incontrolado de las visitas y actividades turísticas (*cf.*, Granados, *et al.*, 2006; Lanaja *et al.*, 2008; Arruebo *et al.*, 2009; Rodríguez *et al.*, 2009; Pardo *et al.*, 2010; Fig. 3A).

El principal impacto derivado de la actividad ganadera es el aumento de los nutrientes que terminan depositados en el lago, lo que provoca una alteración de sus características fisicoquímicas y un incremento de la productividad primaria del sistema. La explosión demográfica de determinadas especies generalistas y oportunistas modifica el hábitat y merma la riqueza y diversidad total del ecosistema. Como consecuencia, las concentraciones de oxígeno en el hipolimnion se podrían llegar a reducir provocando situaciones de hipoxia.

Otro factor derivado de la presencia de ganado en las inmediaciones de estos lagos es la erosión de sus riberas (Fig. 3B). Resultado de un pisoteo continuado, tanto por parte del ganado como de los visitantes, el perímetro del lago se erosiona, el tapiz vegetal natural desaparece y la parte edáfica más superficial, rica en semillas y materia orgánica, queda alterada (*cf.*, Granados *et al.*, 2006). Parte del material erosionado en las orillas termina sedimentando en sus aguas, por lo que se incrementa la materia en suspensión y se acelera el proceso natural de colmatación de estos sistemas lacustres. Este proceso erosivo adquiere una mayor importancia al contextualizarlo en el ámbito geográfico de la alta montaña, en la que se enclavan estos ambientes, donde las tasas de formación de suelo son muy reducidas.

El represamiento es otra de las principales intervenciones antrópicas directas realizadas en los ibones, y en la actualidad existen un número notable de lagos represados (e.g., Bachimaña, Ip, Respomuso, Escarra, Piedrafita, Baños). Las presas presentes son de diferentes tipos y, a pesar de que todas modifican el volumen de agua y el tiempo de residencia, no siempre conllevan una fluctuación artificial de caudales interanual. Así, hay algunas que son dinámicas para regular el régimen hidrológico (e.g., ibón de Escarra, ibones de Bachimaña, ibón de Ip) y otras que son más estáticas (e.g., ibón de Piedrafita, ibón Azul superior, ibón de Millares inferior y superior; Del Valle y Rodríguez, 2004).

Tanto el represamiento como la extracción de agua generan variaciones en la altura de la columna de agua, que a su vez produce la alteración de la transmitancia de la luz hasta el bentos, variaciones en sus características fisicoquímicas y afecciones en la biota del litoral. Los efectos sobre la vegetación pueden ser catastróficos, generando cambios completos en su composición (Gacía y Ballesteros, 1996, 1998).

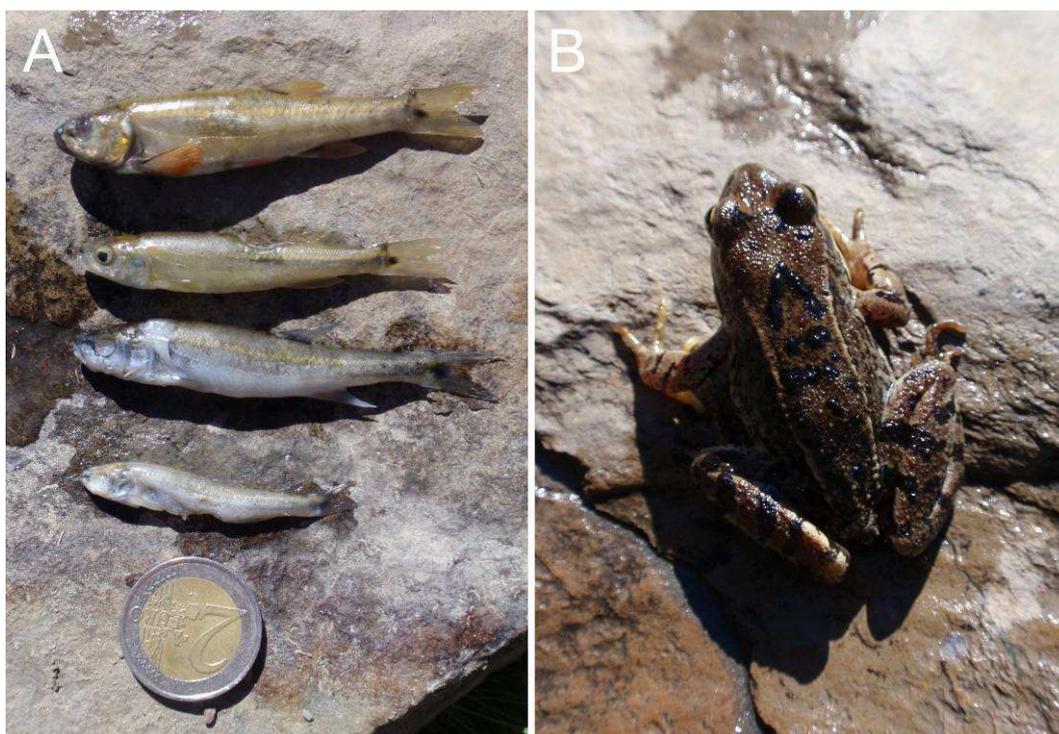


Figura 3. Uno de los efectos del turismo en la ribera de los ibones es la concentración de desperdicios en el bentos de estos lagos (A). La erosión de las riberas producida por el paso de ganado y personas (B) es evidente en el ibón de Truchas (Fuente: elaboración propia).

Los antiguos usos hidroeléctricos de los lagos de alta montaña no solo han dejado un legado de presas a lo largo del Pirineo. Actualmente todavía se encuentran los restos de antiguas explotaciones hidroeléctricas en las inmediaciones de algunos lagos (Del Valle y Rodríguez, 2004, Pardo *et al.*, 2010). Así, tanto las presas de mayor tamaño como estas antiguas infraestructuras, además de producir afecciones en la biota del lago, generan un impacto paisajístico notable en el paisaje de la alta montaña (Del Valle y Rodríguez, 2004).

La introducción de peces para la práctica de la pesca deportiva es otra de las presiones antrópicas que tradicionalmente han alterado el equilibrio natural de estos ecosistemas (Rodríguez *et al.*, 2009; Fig. 4). La piscifauna alóctona, algunas de cuyas especies están situadas en ocasiones en lo alto de la red trófica, puede afectar notablemente a algunas de las especies nativas de estos ambientes. Diferentes estudios relacionan la presencia de piscifauna introducida con afecciones sobre las comunidades de macroinvertebrados (*e.g.*, Martínez-Sanz, *et al.*, 2010), con la reducción de algunas poblaciones de anfibios (*e.g.*, Orizaola y Braña, 2006), o con modificaciones en las densidades de algunas especies plantónicas (*cf.*, Granados, *et al.*, 2006).

La última fuente de presión es la ejercida por el conjunto de actividades turísticas que se desarrollan en las inmediaciones de estos lagos. En este sentido, durante el periodo invernal destacan las estaciones de esquí alpino y de fondo y sus actividades directas o indirectas, y en menor medida el senderismo, montañismo, y el buceo bajo hielo y en altitud. 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, el ciclismo, y el buceo en altitud (Rodríguez *et al.*, 2009).



*Figura 4. La introducción de piscifauna en los ibones (A), supone un peligro para los anfibios (B) que habitan en ellos (Fuente: elaboración propia).*

Las consecuencias de estos usos recreativos son, en primer lugar, un aumento notable de los residuos depositados en las inmediaciones que puede contribuir a acentuar el proceso de eutrofización de las aguas (Fig. 5), que también puede verse favorecido por la erosión de los márgenes causada por las diversas actividades realizadas en las orillas.

#### **1.4.2. Última década: una nueva conciencia social**

Tras años de explotación escasamente regulada como reservorios de agua y de energía hidroeléctrica, zonas de pesca o ambientes para la práctica de distintas actividades recreativas, en la última década la relación de los ciudadanos con los ibones ha experimentado un cambio notable (cf., Pardo *et al.*, 2010). Visitantes y una variedad de colectivos se han aproximado a los lagos de alta montaña aragoneses con una actitud muy diferente a la tradicional, al constatar el progresivo deterioro que habían sufrido algunos de estos lagos, en especial aquellos que por su ubicación y facilidad de acceso han sufrido una mayor presión humana.

El resultado ha sido la puesta en marcha, por parte de diversos colectivos sociales, empresas e instituciones, de una variedad de acciones de educación, sensibilización y conservación en los lagos de montaña del Pirineo. Las asociaciones e instituciones que han promovido o participado en las distintas iniciativas es buena muestra del arraigo que esta nueva actitud está teniendo en la sociedad.

Entre las diversas acciones realizadas, destaca la realización de jornadas de limpieza subacuática y subaérea, el desarrollo de estudios técnicos y manuales de buenas prácticas, la organización de jornadas de discusión y debate entre los distintos actores y entidades implicadas, o la impartición de cursos especializados sobre esta temática (cf., Pardo *et al.*, 2010). Independientemente de las organizaciones y colectivos que los han promovido, todas estas acciones han puesto de manifiesto el enorme potencial de los ibones para su aprovechamiento y disfrute desde el punto de vista educativo, naturalista y de sensibilización medioambiental.

#### **1.5. Conclusiones**

Los ibones, lagos de montaña de origen glaciar del Pirineo aragonés, tienen una génesis directamente relacionada con las glaciaciones del Pleistoceno. Durante los periodos de mayor extensión glaciar, la presión glacioestática ejercida por las masas de hielo sobre el terreno produjo depresiones sobre el basamento rocoso. Posteriormente, en la sucesiva etapa interglaciar, éstas quedaron al descubierto, recogiendo las aguas de deshielo y transformándose en los actuales ibones.

En Aragón hay inventariados un total de 197 ibones, y constituyen uno de los ecosistemas más singulares de esta región. Su aislamiento, las condiciones climáticas extremas que los gobiernan, y las particularidades bioquímicas que presentan sus aguas, los convierten en unos entornos que favorecen la presencia de organismos especialistas de reducida distribución en el contexto peninsular.

Las características químicas de estas masas de agua dependen principalmente de la litología de la cuenca y de la actividad edáfica de sus suelos. Las condiciones de aislamiento de algunos de estos ibones los convierten en sistemas ideales donde estudiar la contaminación proveniente del transporte atmosférico, la acidificación de sus aguas, la contaminación por metales pesados, así como el incremento de los compuestos orgánicos persistentes.

Además de presentar un alto valor medioambiental y científico, estos ecosistemas presentan un relevante interés socioeconómico. La relación del ser humano con estos entornos se remonta a siglos atrás, y los tradicionales usos hidroeléctricos y la introducción de piscifauna para pesca recreativa han dado paso más recientemente a la práctica de diferentes actividades deportivas y recreativas.

En ocasiones, los usos inadecuados han generado una serie de afecciones sobre estos entornos que han puesto en peligro su conservación. Así, estos sistemas sufren hoy en día la presión de un régimen de visitas elevado, de las estaciones de esquí, del represamiento de su cauce o de cambios en sus comunidades consecuencia de la introducción de ejemplares alóctonos, entre otros.



*Figura 5. La eutrofización de las aguas de los ibones provoca un crecimiento incontrolado del fitoplancton, que se traduce en turbidez y en falta de luz y oxígeno en las zonas más profundas del lago, como muestra esta imagen tomada en el ibón de Baños (Fuente: elaboración propia).*

Sin embargo, durante la última década se ha producido un importante fenómeno social, y distintos colectivos han puesto en marcha distintas acciones de restauración medioambiental y difusión de los valores naturales de los ibones. Estos hechos han puesto de manifiesto el enorme potencial que tiene estos entornos para su aprovechamiento y disfrute desde un punto de vista educativo, naturalista y de sensibilización medioambiental.

## **Agradecimientos**

Este estudio ha sido posible gracias las ayudas concedidas por el Departamento de Ciencia, Tecnología y Universidad del Gobierno de Aragón a Zoe Santolaria y Tomás Arruebo, así como la ayuda concedida por el Instituto de Estudios Altoaragoneses (IEA) para el proyecto “*Valoración del estado de conservación que presentan dos ibones situados en el Pirineo oscense, Baños y Sabocos: diagnóstico, análisis comparativo y propuesta de alternativas para su gestión*”. Los autores desean mostrar también su agradecimiento a todas las entidades que han participado en este trabajo: Diputación General de Aragón (DGA), Federación Aragonesa de Actividades Subacuáticas (FARAS), Club ZCO, Aramón-Panticosa, Ayuntamiento de Panticosa, Estación de Esquí de Astún, Guardia Civil (GEAS) y Laboratorio de Higiene y Salud Pública del Ayuntamiento de Zaragoza.

## Bibliografía

- ACA (2006). *Protocolo de evaluación del estado ecológico de los lagos. 1ª Parte: manual de aplicación*, Cataluña, Agencia Catalana del Agua, 21p.
- Almodóvar, A. y Elvira, B. 2000. Clasificación y conservación de los lagos de alta montaña de España según su ictiofauna. In: Granados, I. y Toro, M. (eds.) *Conservación de los Lagos y humedales de Alta Montaña de la Península Ibérica*. Madrid: UAM Ediciones, 201- 206 pp.
- Arruebo, T., Arruebo, F. T., Pardo, A., Del Valle, J., Rodríguez, C., Santolaria, Z., y Lanaja, F. J., 2008. Valoración ambiental de los lagos del Pirineo Aragonés en función de criterios ecológicos, botánicos y herpetológicos: áreas prioritarias para la conservación. En: Congreso Nacional de Medio Ambiente (ed.) *El reto es actuar : CONAMA 9 : comunicaciones técnicas del Congreso Nacional del Medio Ambiente, Cumbre del Desarrollo Sostenible, celebrado en Madrid del 1 al 5 de diciembre de 2008*. Fundación CONAMA, CD-ROM, pp. 1- 24.
- Arruebo, T., Pardo, A., Rodríguez, C., Lanaja, F. 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. *Pirineos*, 164, pp.135-164.
- Bacardit, M., 2011. *Trace elements biogeochemistry in high mountain lake catchments: identifying anthropogenic versus natural components from the atmospheric contamination legacy in remote natural areas*. Tesis de Doctorado, Institut d'Ecologia Aquàtica, Universitat de Girona, 180 p.
- Banda, E. y Wickham, S. M., 1986. The geological evolution of the Pyrenees. *Tectonophysics*, 129(1-4), 381 p.
- Barrère, P., 1963. La période glaciaire dans l'Ouest des Pyrénées centrales Franco-espagnoles, *Pyrénées et du Sud-Ouest*, France, 24(2), pp: 116-134.
- Battarbee, R., 2005. Mountain lakes, pristine or polluted? *Limnetica*, 24(1-2), pp. 1-8.
- Battarbee, R., 2010. Mountain Lakes - Foreword. *Hydrobiologia*, 648, pp.1-2.
- Boehrer, B. y Schultze, M. 2008. Stratification of lakes. *Reviews of Geophysics*, pp. 46, 27
- Brady, N. C., Wail, R. R., 2008. *Elements of the Nature and Properties of Soils*. Pearson Education, Prentice Hall, New Jersey, 975 p.
- Buchaca, T. y Catalan, J. 2008. On the contribution of phytoplankton and benthic biofilms to the sediment record of marker pigments in high mountain lakes. *Journal of Paleolimnology*, 40, pp. 369–383
- Camarero, L.; Rogora, M.; Mosello, R.; Anderson, N.; Barbieri, A.; Botev, I.; Kernan, M.; Kopáček, J.; Korhola, A.; Lotter, A.; Muri, G.; Postolache, C.; Stuchlik, E.; Thies, H. y Wright, R. 2009. Regionalisation of chemical variability in European mountain lakes. *Freshwater Biology*, 54, pp. 2452–2469.
- Catalán, J. 1989. The winter cover of a highmountain mediterranean lake (Estany Redó, Pyrenees). *Wat. Resour. Res.*, 25, pp. 519-527

- Catalán, 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), pp. 551-584
- Catalán, J.; Curtis, C. y Kernan, M. 2009. Remote European mountain lake ecosystems: regionalisation and ecological status. *Freshwater Biology*.
- CHE 2005. *Metodología para el establecimiento del Estado Ecológico según la Directiva Marco del Agua, Protocolos de muestreo y análisis para invertebrados bentónicos*, Zaragoza, Confederación Hidrográfica del Ebro, 59 p.
- CHE 2006. *Lagos y humedales. Establecimiento de condiciones de referencia y redefinición de redes en la cuenca del Ebro, según la Directiva 2000/60/CE*, Zaragoza, Confederación Hidrográfica del Ebro, 66 p.
- CHE 2007. *Asistencia técnica para el control del estado de los lagos de la cuenca del Ebro según la Directiva 2000/60/CE (Informe preliminar)*, Zaragoza, Confederación Hidrográfica del Ebro, 146 p.
- 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, 149 p.
- 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. y Pérez Alberti, A., 1998. *Las huellas glaciares de las montañas españolas*, Universidad de Santiago de Compostela, pp: 193-261.
- Corella, J.P.; Moreno, A.; Morellón, M.; Rull, V.; Giralt, S.; Rico, M.; Sanz-Pérez, A.; Valero-Garcés, B., 2011. Climate and human impact on a meromictic lake during the last 6,000 years (Montcortès Lake, Central Pyrenees, Spain). *Journal of Paleolimnology*, 46(3), pp. 351-367.
- Curtis, C.; Botev, I.; Camarero, L.; Catalan, J.; Cogalniceanu, D.; Hughes, M.; Kernan, M.; Kopáček, J.; Korhola, A.; Psenner, R.; Rogora, M.; Stuchlík, E.; Veronesi, M. y Wright, R., 2005. Acidification in European mountain lake districts: A regional assessment of critical load exceedance. *Aquatic Sciences - Research Across Boundaries*, 67, pp. 237-251.
- De Mendoza, G. y Catalán, J. 2010. Lake macroinvertebrates and the altitudinal environmental gradient in the Pyrenees. *Hydrobiologia*, pp. 51-72.
- 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, Madrid, 24 p.
- Ehlers, J., and P.L. Gibbard, (ed.) 2004. *Quaternary Glaciations: Extent and Chronology 1: Europe*. Elsevier, Amsterdam, 488 p.
- Gacía, E. y Ballesteros, E. 1996. The effect of increased water level on *Isoetes lacustris* L in Lake Baciver, Spain. *Journal of Aquatic Plant Management*, 34, pp. 57-59

- Gacia, E. y Ballesteros, E. 1998. Effects of building up a dam in a shallow mountain lake. *Oecologia aquatica*, 11, pp. 55-66.
- Gacia, E.; Ballesteros, E.; Camarero, L.; Delgado, O.; Palau, A.; Riera, L. y Catalan, J. 1994. Macrophytes from the Eastern Pyrenean lakes: composition and ordination in relation to environmental factors. *Freshwater Biology*, 32, pp. 73–81.
- Gacia, E.; Chappuis, E.; Lumbreras, A.; Riera, J. y Ballesteros, E. 2009. Functional diversity of macrophyte communities within and between Pyrenean lakes. *Journal of Limnology*, 68 (1), pp. 25-36
- García Ruiz, J.M y Martí Bono, C., 1994. Rasgos fundamentales del glaciario cuaternario en el Pirineo Aragonés, in Martí Bono, C. y García Ruíz, J.M. (1994): *El Glaciario Surpirenaico: Nuevas Aportaciones*, Geoforma Ediciones, Logroño, pp. 17-33.
- Gallego, E.; Grimalt, J.; Bartrons, M.; Lopez, J.; Camarero, L.; Catalan, J.; Stuchlik, E. Y Battarbee, R., 2007. Altitudinal gradients of PBDEs and PCBs in fish from high mountain lakes. *Environmental Science and Technology*, 41, pp. 2196–2202.
- Granados, I. y Toro, M. 2000. Recent warming in a high mountain lake (Laguna Cimera, Central Spain) inferred by means of fossil chironomids. *Journal of Limnology*, 59, pp.109-119.
- Granados, I.; Toro, M. y Rubio-Romero, A. 2006. *Laguna Grande de Peñalara. 10 años de seguimiento limnológico*, Madrid, Dirección General del Medio Natural, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Comunidad de Madrid, 185 p.
- Holmes, A. y Holmes, D.C., 1987. *Geología física*, Omega, Barcelona, 812 p.
- Lanaja, F.J., 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, pp. 66-72.
- Lanaja, F.J., Arruebo, T., Pardo, A., Rodríguez, C., Del Valle, J., Hernandez C., Santolaria, Z., 2008. Determinación de la calidad ecológica de los lagos de origen glaciar afectados por la acción antrópica: Sabocos y Baños. *Tecnología del Agua*, 302, pp. 66-75.
- Larrasoana; J.C.; Ortuño, M.; Birks, H.H.; Valero-Garcés, B.L; Parés, J.M.; Copons, R.; Camarero, L.; Bordonau, J., 2010. Palaeoenvironmental and palaeoseismic implications of a 3700-year sedimentary record from proglacial Lake Barrancs (Maladeta Massif, Central Pyrenees, Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 294, pp. 83- 93.
- 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*, Geoforma Ediciones, Logroño, 77 p.
- Margalef, R., 1983. *Limnología*, Editorial Omega, Barcelona, 1010 p.
- Martínez-Sanz, C.; García-Criado, F. y Fernández-Aláez, C., 2010. Effects of introduced salmonids on macroinvertebrate communities of mountain ponds in the Iberian system of Spain. *Limnetica*, 29 (2), pp. 221-232.

Mendivil, J., 2003. *Monumentos Naturales de los Glaciares Pirenaicos*

Accesible: [www.aragoneria.com/natural/epglacia.htm](http://www.aragoneria.com/natural/epglacia.htm)

Acceso: 16/12/2005

Milankovich, M.M., 1969. *Canon of insolation and the Ice-age problem*, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 633 pp. (traducción de la obra publicada en Posebna Izd. Srp. Kraljevska Akad. 133, Prir. Mat. Spisi, 33, 1941)

Miracle, R. 1978. Composición específica de las comunidades zooplanctónicas de 153 lagos de los Pirineos y su interés biogeográfico. *oecologia aquatica*, 3, pp. 167-191.

Orizaola, G. y Braña, F. 2006. Effect of salmonid introduction and other environmental characteristics on amphibian distribution and abundance in mountain lakes of northern Spain. *Animal Conservation*, 9, pp. 171-178.

Pardo, A., Rodríguez, C., Arruebo, T., y Del Valle, J. (2010). Acciones de protección y sensibilización medioambiental en los Ibones del Pirineo Aragonés en la década 1999-2010: Descripción, análisis y consecuencias. *Actas 10 Congreso Nacional del Medio Ambiente*. 25 p.

Pascual Martínez, M.L.; Rodríguez-Alarcón, A.; Hidalgo Zamora, 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 Martínez, I. y Toro Velasco, M., 2000. *Conservación de los Lagos y Humedales de Alta Montaña de la Península Ibérica*, UAM Ediciones, Madrid, pp. 51-77.

Pedraza, J., 1996. *Geomorfología. Principios, Métodos y Aplicaciones*, Editorial Rueda, Madrid, 414 p.

Porta, J., López-Acevedo, M. y Roquero C., 2003. *Edafología, para la agricultura y el medio ambiente*. 3ª edición. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 929 p.

Raut, R.; Sharma, S. y Bajracharya, R., 2012. Biotic response to acidification of lakes - a review. *Kathmandu University Journal Of Science, Engineering And Technology*, 8 (I), pp. 171-184.

Rodríguez, C., Arruebo, T. y Pardo A., (2009): *Modelo de gestión para espacios naturales de alto interés ecológico: lagos de alta montaña (ibones)*. Consejo de la Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza, 288 p.

Smith, R. y Smith, T. 2001. *Ecología*, Madrid, España, Pearson Educación, S.A., 664 p.

Solé, L. 1951. *Los Pirineos*. Ed. Alberto Martín, Barcelona. 615 p.

Strahler, A.N. y Strahler, A.H., 2000. *Geografía física*, Omega, 3ª edición, Barcelona, 550 p.

Tarbut, E.J. y Lutgens, F.K., 1999. *Ciencias de la tierra*, Prentice Hall, 6ª edición, Madrid, 563 p.

- Thompson, R.; Price, D.; Cameron, N.; Jones, V.; Bigler, C.; Rosén, P.; Hall, R.; Catalan, J.; García, J.; Weckstrom, J. y Korhola, A. 2005. Quantitative calibration of remote mountain lake sediments as climatic recorders of air temperature and ice-cover duration. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 37, pp. 626–635
- Valero-Garcés, B.L.; Moreno, A., 2011. Iberian lacustrine sediment records: Responses to past and recent global changes in the Mediterranean region. *Journal of Paleolimnology*. 46(3):319-325.
- Visser, R. L. M., 1992. Variscan extension in the Pyrenees. *Tectonics*. 11, pp. 1369-1384.
- Wright, R.; Aherne, J.; Bishop, K.; Camarero, L.; Cosby, B.; Erlandsson, M.; Evans, C.; Forsius, M.; Hardekopf, D.; Helliwell, R.; Hruška, J.; Jenkins, A.; Kopáček, J.; Moldan, F.; Posch, M. y Rogora, M. 2006. Modelling the effect of climate change on recovery of acidified freshwaters: Relative sensitivity of individual processes in the MAGIC model. *Science of the Total Environment*, 365, pp. 154–166.