

LUCAS MALLADA, 24 (2022)

ISSN 0214-8315, ISSN-e 2445-060X

<http://revistas.ica.es/index.php/LUMALL>

CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA Y ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LOS IBONES DE VALLIBIERNIA (BENASQUE)

Mario Gaspar¹ | Rocío López-Flores²

RESUMEN Los ibones son sistemas lénticos oligotróficos de origen glaciar situados en el Pirineo aragonés, en general por encima de los 1800 metros de altitud. Estas características, junto con su aislamiento geográfico, hacen de ellos sistemas especialmente sensibles a la alteración de su dinámica natural. Los principales impactos a los que están sometidos en la actualidad son el aprovechamiento hidroeléctrico, la introducción de ictiofauna y la presión antrópica debida al turismo. El estudio de estos lagos ha estado tradicionalmente enfocado a la descripción de sus características generales más que a la de sus rasgos individuales. En el presente artículo se describen por primera vez las principales características limnológicas y de la comunidad biológica de los ibones de Vallibierna ($n = 3$), situados en el valle de Benasque. Los resultados mostraron que, a pesar de su proximidad y su cuenca común, estos lagos presentan importantes diferencias entre sí, tales como la composición y la diversidad de las comunidades planctónica y bentónica, la concentración de clorofila a , el pH y la conductividad.

¹ Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA). Área de Ecología. Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 Huesca. mariogaspargiron@gmail.com

² Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA). Área de Ecología. Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 Huesca. rocio.lopez@unizar.es

PALABRAS CLAVE Ibones. Macroinvertebrados. Plancton. Limnología. Valle de Benasque (Huesca).

ABSTRACT Pyrenean high mountain glacial lakes are oligotrophic lentic systems present, usually above 1,800 metres, in northern Aragón, where they are called *ibones*. These features, plus their geographic isolation, make these lakes especially susceptible to alterations in their natural dynamics. The main threats presently affecting these systems are hydropower exploitation, fish species introductions, and increasing human pressure due to tourism. Studies of these lakes have traditionally focused on their common and general characteristics more than their individual features. This paper focuses on the limnology and the biological community of three previously unstudied lakes named *ibones de Vallibierna* ($n = 3$) located in the Benasque Valley. Despite their proximity and common basin, important differences were found among them, such as the composition and diversity of the planktonic and benthic communities, chlorophyll *a* concentration, and pH and conductivity values.

KEYWORDS High mountain lakes (*ibones*). Macroinvertebrates. Plankton. Limnology. Benasque Valley (Huesca, Spain).

INTRODUCCIÓN

Concepto, importancia ecológica y protección de los ibones

La palabra *ibón* es la denominación que reciben los lagos de alta montaña de origen glaciar en el Pirineo aragonés (localmente existen otras denominaciones como *estany* o *basa*). La mayoría de ellos están localizados entre los 1800 y los 2600 metros de altitud (Margalef, 1949), si bien es cierto que existen excepciones a este rango de distribución y se encuentran numerosos ejemplos a mayor y menor altitud. Destacan por su carácter oligotrófico en ausencia de perturbaciones hasta bien alcanzado un alto grado de colmatación, debido a las escasas aportaciones de materia orgánica y los nutrientes procedentes del medio terrestre circundante, así como su aislamiento del medio antrópico.

Las estrictas condiciones ecológicas, climáticas y orográficas que la alta montaña impone a estos sistemas, tales como la permanencia del hielo en sus superficies hasta durante siete meses al año en los más elevados (Margalef, 1949), convierten los ibones en ecosistemas de elevado valor ecológico y muy sensibles a alteraciones de su dinámica natural (Catalán y cols., 2006).

Estas características dan como resultado en última instancia un medio físico muy exigente para las comunidades biológicas, en el que destaca la extraordinaria escasez de compuestos limitantes, de forma que el reciclaje interno es un elemento de enorme importancia a la hora de definir la química de las aguas. A su vez se produce una alta variabilidad estacional en la disponibilidad de luz: una elevada radiación solar en los meses estivales, muy reducida posteriormente cuando los ibones permanecen congelados debido a la nieve acumulada sobre su superficie, con sus consecuentes efectos sobre la producción primaria. Estos dos periodos coinciden con una intensa estratificación de la columna de agua y contrastan con otros dos de mezcla, por lo que se trata de sistemas generalmente dimícticos (Catalán y cols., 1992).

En la actualidad, y a escala de la cordillera, los impactos de origen antrópico más importantes a los que se enfrentan los ibones son la presencia de infraestructuras para el aprovechamiento hidroeléctrico, la ictiofauna introducida como recurso para la pesca deportiva (Catalán y cols., 2006) y, en los últimos años, la creciente presión turística, que ha derivado no solo en una mayor afluencia de personas, sino también en un aumento de actividades inapropiadas tales como el baño y los deportes acuáticos.

La importancia del impacto producido por el aprovechamiento hidroeléctrico recae principalmente en los cambios drásticos en el volumen producidos por la construcción de presas y las posteriores detracciones de agua para la producción eléctrica. Como resultado, la altura que alcanza la superficie del agua es variable y esto supone la total alteración del litoral, la zona con mayor diversidad del lago.

En segundo lugar, el impacto producido por la introducción de peces tiene su fundamento inicial en que dichas especies son incapaces de alcanzar por sí solas estos sistemas remotos, debido principalmente a las grandes pendientes y a los saltos de los torrentes que descienden desde ellos (Ventura y cols., 2017), que en ciertos casos incluso presentan tramos subterráneos. Las especies introducidas en los ibones varían desde autóctonas, procedentes de los ríos de la zona, hasta otras totalmente alóctonas a la península ibérica. En cualquiera de los dos casos resulta un mismo efecto de cascada trófica derivada de la introducción de un escalafón superior en la cadena trófica. Como últimas consecuencias de este impacto, además de

la amenaza por depredación sobre especies autóctonas de los lagos como anfibios (Miró y cols., 2018) y macroinvertebrados (Schilling y cols., 2009), se da un cambio total en la dinámica del ecosistema hacia la eutrofización (Ventura y cols., 2017).

Por último, el impacto debido a la presión turística, aunque en crecimiento, presenta una distribución heterogénea y se concentra especialmente en aquellos lagos con mayor facilidad de acceso y más explotados como reclamo para el ocio. En un segundo plano de importancia se advierten otros impactos antrópicos indirectos, como la acidificación y la contaminación por metales pesados y compuestos orgánicos persistentes (Catalán y cols., 2006).

No existe una legislación específica para la protección de todos los ibones altoaragoneses; sin embargo, varios de ellos sí tienen reconocimiento legal al estar incluidos en el Decreto 204/2010, de 2 de noviembre, del Gobierno de Aragón por el que se creó el Inventario de Humedales Singulares de Aragón y se estableció su régimen de protección. A pesar de ello cabe destacar que, además de no incluir la totalidad de los ibones, sino algo menos del 56 % (137 ibones de los 245 totales, considerando como tales aquellas masas de agua no temporales de origen glaciario con una superficie no inferior a 0,2 hectáreas; Lampre y cols., 2009), esta normativa no contempla actividades lúdicas tales como el baño o los deportes acuáticos, ni tampoco propone soluciones para aquellos ibones en los que se introdujeron peces en el pasado.

A escalas mayores en cuanto a figuras de protección, los ibones se encuentran a menudo enmarcados en varias de ellas simultáneamente (dependiendo de su localización) bajo la estructura de la Red Natural de Aragón (Ley 8/2004), y estas pueden ser las de Parque Natural o Parque Nacional (Decreto Legislativo 1/2015) y Reserva de la Biosfera de la Unesco (Ley 42/2007), así como bajo la Red Natura 2000 (Ley 42/2007): Lugar de Interés Comunitario (LIC), según la Directiva 1992/43/CEE, o Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA), según la Directiva 2009/147/CE.

La comunidad acuática de los ibones

La comunidad biológica que presentan los ibones está fuertemente influenciada por su aislamiento geográfico, que genera dificultad en la dispersión de las especies, su altitud y la estacionalidad de las condiciones y

de los recursos (Catalán y cols., 2006). A las consecuencias que estas características imponen sobre el medio acuático de los ibones han respondido los organismos que lo habitan con diferentes adaptaciones evolutivas, como son la mixotrofia (Ortiz-Álvarez y cols., 2018), la protección de la radiación UV mediante pigmentos accesorios (Korbee y cols., 2012; Tartarotti y cols., 1999), las diferentes estrategias de dispersión (Catalán y cols., 2006) y los cambios fenológicos ligados a formas de resistencia (Catalán y cols., 1992; McMinn y Martin, 2013).

La comunidad planctónica, dejando de lado los organismos procariontes del picoplancton, la conforman formas de vida eucariota (fitoplancton y zooplancton). En cuanto a este conjunto de organismos, estudios recientes afirman que su gran diversidad en lagos de alta montaña presenta contribuciones similares de autótrofos, heterótrofos y parásitos, así como la existencia de un elevado porcentaje de desconocimiento (novedad genética) entre ellos (Ortiz-Álvarez y cols., 2018).

Sin embargo, los primeros estudios de esta porción de la comunidad planctónica se remontan a varias décadas en el pasado. Ya hace más de medio siglo Margalef (1949) definió las características ecológicas básicas asociadas a estos ecosistemas en cuanto a su comunidad planctónica. En primer lugar, argumentaba respecto al fitoplancton que, como productores primarios, su capacidad de producción y, por ende, su abundancia y el estado trófico de estos lagos están limitados no por falta de entradas de energía al sistema (dada la elevada radiación solar a las altitudes a las que se encuentran estos lagos y la transparencia de sus aguas), sino por insuficiencias en la entrada de materia a los ciclos de producción como resultado de las bajísimas concentraciones de compuestos limitantes: moléculas inorgánicas solubles de nitrógeno y el fósforo. A estas insuficiencias deben añadirse los efectos sobre la producción impuestos por el clima de alta montaña, tales como los estrechos márgenes de tiempo (los pocos meses de deshielo de verano) de los que la comunidad de productores primarios dispone para desarrollarse (Wissinger y cols., 2016). Ya citaba entonces Margalef (1949) una importante abundancia relativa de diatomeas y flagelados. Años después Catalán y cols. (1992) concretan las disposiciones anteriores y hablan de la frecuencia heterogénea de muchos grupos planctónicos a lo largo del año, con diferencias especialmente destacables entre los periodos

con y sin la superficie congelada del lago. Comentan también la aparición de algunos grupos de diatomeas formando colonias durante los periodos de mezcla de la columna de agua, de la permanencia de otros durante todo el año y de la mayor presencia de otros géneros durante la estratificación estival como *Cyclotella*. Además, destacan la presencia frecuente de criptófitas y de crisófitas como *Dinobryon* (así como otros mixótrofos).

Las peculiaridades de la base de la cadena trófica en los sistemas leníticos oligotróficos de montaña tienen unos efectos esperados sobre la producción secundaria (Wissinger y cols., 2016), entre los que cabe mencionar una consecuente baja producción de zooplancton y macroinvertebrados. De esta manera, la productividad debida a los productores secundarios debería ser menor y las cadenas tróficas más cortas que en lagos situados a menor altitud como consecuencia de la escasa producción primaria y las bajas tasas metabólicas que imponen las temperaturas del clima de alta montaña (Plante y Downing, 1989; Arim y cols., 2007). Sin embargo, la escasez lleva a la diversificación funcional de la red trófica, lo cual incrementa su complejidad en este aspecto. Catalán y cols. (1992) corroboran esta relación entre la producción primaria y la secundaria haciendo hincapié en que la diversidad y la abundancia del zooplancton de pequeño tamaño varían, conforme a las de fitoplancton, según el grupo taxonómico y la época del año, y destacan especies como *Asplanchna priodonta* y *Kellicottia longispina*, mientras que las especies de zooplancton de gran tamaño son pocas, se encuentra en muchos ibones una única especie de ciclopoide y/o cladóceros y destacan entre ellas *Cyclops abyssorum* y *Daphnia longispina* (Miracle, 1978a) respectivamente. Además, se ha descrito una gran similitud de la comunidad zooplanctónica entre los lagos pirenaicos, pero también entre estos y los de la cordillera alpina (Miracle, 1978b).

En cuanto a la comunidad bentónica, destacan en ella tanto los biofilms como la presencia de macroinvertebrados. De los primeros, Bartrons y Catalán (2012) enfatizan su importancia para los ciclos del carbono de estos sistemas, pues pueden incluso dominar en la producción primaria, y la gran diversidad de las comunidades procariotas epilíticas (con altos porcentajes de novedad genética).

Respecto a los macroinvertebrados, Catalán y cols. (2006) señalan que este grupo lo componen taxones con ciclos vitales, estrategias tróficas y de

dispersión muy diferentes. Citan también una relación inversa entre la abundancia y la altitud para ciertos grupos ampliamente distribuidos. Y resaltan igualmente que, si bien la capacidad de dispersión y, por tanto, la manera en que alcanzaron estos sistemas los insectos de la comunidad bentónica es gracias a una fase adulta voladora, esa capacidad en grupos sin una fase de este tipo (Oligochaeta, Nematoda, Hydrachnidia...) es dependiente de un transporte pasivo, bien sea mediado por insectos como vectores o por el viento en forma de resistencia. Destacan en este punto a la familia Chironomidae (Diptera), no solo por actuar como vector de transporte para ciertos grupos sin capacidad activa (como los citados anteriormente), sino también por su importancia como recurso trófico.

Del mismo modo, un extenso trabajo en el que se recoge información de sistemas lacustres alpinos de diferentes lugares del planeta (Wissinger y cols., 2016) cita a su vez dos artículos en los que se describe a los quiro-nómidos y a los oligoquetos como los mayores contribuyentes en número y biomasa de la comunidad de macroinvertebrados (Füreder y cols., 2006; Laville, 1971) de dichos sistemas. Ese mismo trabajo se refiere también a un estudio realizado en pequeños lagos de alta montaña del Pirineo francés hace más de treinta años, en el cual ya se reportan una buena representación y la contribución a la biomasa de la comunidad por parte de plecópteros, efemerópteros, tricópteros, megalópteros, bivalvos y coleópteros (Le Cren y Lowe-McConnell, 1980).

Por último, cabe recalcar que a lo largo de este apartado se han comentado varias particularidades de los ibones tales como la presencia de grupos taxonómicos con un alto grado de novedad genética (Ortiz-Álvarez y cols., 2018; Bartrons y Catalán, 2012) o las escasas estrategias de dispersión que han permitido salvar las dificultades que supone alcanzar los ibones, entendiéndolos como sistemas bajo un importante aislamiento e incluso comunidades con gran potencial de investigación apenas estudiadas (Catalán y cols., 2006). Pues bien, de nuevo Margalef (1949), mucho antes incluso de que la mayoría de los estudios anteriormente citados se pudieran realizar, ya describió que cada ibón constituye por sí mismo una biocenosis única. En palabras de dicho autor: “Cada ibón puede considerarse como un biotopo casi cerrado, es decir, como un medio que alberga un sistema biológico formado por un conjunto equilibrado de organismos que, a través, y aun a

pesar de un dinamismo propio, permanece indefinidamente en una forma semejante a sí misma, siendo poco influenciado por los sistemas biológicos exteriores al biotopo”, recalcando una característica más del gran valor ecológico que estos sistemas suponen (incluso a escala individual) y favoreciendo la dotación de argumentos de cara a su protección.

Objetivos

El objetivo general del presente artículo fue describir la ecología y el estado trófico de los ibones de Vallibierna ($n = 3$) y compararlos en relación con la subcuenca que ocupa cada uno, sus variables fisicoquímicas y sus comunidades de macroinvertebrados, zooplancton y fitoplancton. Para ello se concretaron los siguientes objetivos específicos:

- Determinación de la concentración de clorofila *a* y de variables fisicoquímicas en cada ibón: superficie de la subcuenca, superficie del ibón, altitud, profundidad máxima, temperatura, concentración de oxígeno, pH y conductividad.
- Conocer la composición de la comunidad de macroinvertebrados, fitoplancton y zooplancton presente en estos sistemas.
- Establecer la densidad y la diversidad que pueden presentar los ibones respecto a dichos organismos.
- Establecer relaciones entre la estructura de la comunidad, la diversidad, los índices biológicos y las variables fisicoquímicas.
- Aplicación de índices de calidad ecológica específicos para este tipo de sistemas con el fin de determinar su estado de conservación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

Los ibones de Vallibierna se encuentran en el valle homónimo, perteneciente al término municipal de Benasque, en la comarca altoaragonesa de Ribagorza (Huesca, España). El conjunto del valle y, por ende, los lagos del estudio se hallan circunscritos al Parque Natural de Posets – Maladeta y cuentan igualmente con la declaración de LIC y ZEPA de la Red Natura

2000 bajo el mismo nombre. Es prácticamente coincidente la superficie cubierta por las tres figuras de protección.

La denominación dada a estos tres lagos ha sido la de Ibón Inferior e Ibón Superior de Vallibierna para los dos de mayor tamaño, según su altitud relativa, e Ibonet de Vallibierna para el menor de los tres, localizado a mayor altitud (tabla 1).

El valle glaciar de Vallibierna tiene una orientación noroeste-sureste y queda limitado al norte y al este por el batolito granítico del macizo de la Maladeta y sus granodioritas periféricas, al sur por calizas devónicas y las pizarras silúricas de Sierra Negra (Martínez de Pisón, 1990) y, finalmente, por el alto valle del Ésera o valle de Benasque al oeste, al que vierte sus aguas pocos kilómetros al norte de dicha localidad. Su entorno, mayoritariamente situado entre los 1900 y los 2700 metros de altitud, queda definido como clima de alta montaña, según Lampre (2001), de acuerdo con su media anual inferior a los 5 °C, precipitaciones superiores a 1000 milímetros anuales y manto nivoso permanente de seis a ocho meses al año. Por último, cabe apuntar que, de acuerdo con la altitud de la isoterma de 0 °C para cada uno de los meses de invierno (Lampre, 2001) y la altitud de los ibones estudiados, se puede deducir que su superficie queda congelada en algún momento del mes de noviembre o, como tarde, a principios de diciembre, y que permanece helada hasta finales de marzo o primeros de abril.

Tabla 1. Datos geográficos de los tres ibones de Vallibierna.

	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Ibonet</i>
<i>Coordenadas UTM (huso 31)</i>	X: 307974 Y: 4719807	X: 308558 Y: 4719925	X: 308652 Y: 4720027
<i>Altitud (m)</i>	2430	2475	2485
<i>Superficie (ha)</i>	3,9	2,5	0,2

Fuente: Lampre y cols. (2009).

Muestreos y métodos analíticos

Las muestras fueron tomadas en los meses de julio y agosto de 2019 en las horas centrales del día. En primer lugar se procedió a una revisión *de visu* sobre la conectividad de los ibones entre sí y del sustrato predominante del bentos. Asimismo, se trató de averiguar la presencia o no de peces en cada

uno de los ibones atendiendo a la información prestada por fuentes primarias, es decir, informantes originarios del valle de Benasque y cualquier otra fuente fidedigna.

Para la determinación de la superficie de la subcuenca de cada ibón se utilizaron herramientas GIS. Concretamente se utilizaron las aplicaciones GeoPortal (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y Ministerio para la Transición Ecológica, 2010) e Iberpix 4 (IGN, 2017). Además, se obtuvieron mediante los mismos procedimientos las superficies de cada ibón en lugar de tomarlos de la bibliografía a fin de homogeneizar las mediciones. Con ambos valores se calculó la ratio SC : SI (superficie de la cuenca : superficie del ibón) a fin de estudiar su posible relación con las características ecológicas de los lagos (Camarero y cols., 2009; Füreder y cols., 2006; Jacquemin y cols., 2019).

Se determinaron *in situ* los valores para la temperatura (°C), la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), el pH y la concentración de oxígeno (mg/L) mediante la medición con sonda multiparamétrica HQ30D (Hach, EE. UU.) en tres puntos diferentes del litoral para cada variable y cada ibón. Se recopilieron, además, variables geográficas ya citadas anteriormente, como la superficie o la altitud de los ibones objeto de estudio, mediante los datos proporcionados por la bibliografía (Lampre y cols., 2009).

Para el análisis de la concentración de clorofila *a* planctónica se filtró *in situ* un volumen de 2 litros de agua de cada ibón a través de un filtro Whatman GF/F de poro 0,7 μm . La muestra se conservó en frío y a salvo de la luz y fue congelada por un periodo máximo de 12 horas. Se preparó su contenido para el análisis mediante la extracción de los pigmentos en acetona al 100 % durante 24 horas. Se realizó un filtrado posterior del extracto a través de un filtro Whatman GF/C de poro 1,2 μm para eliminar impurezas. Finalmente se determinó la concentración de clorofila *a* mediante los valores de absorbancia obtenidos por espectrofotometría empleando las longitudes de onda 630 nm, 645 nm, 665 nm y 750 nm y la ecuación propuesta por el protocolo fijado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2013) para clorofila planctónica.

El muestreo de la comunidad fitoplanctónica consistió en el llenado directo de una botella ámbar con agua de cada ibón y la fijación de la muestra con lugol acético. Las muestras se sedimentaron con columnas de 100 mililitros

un mínimo de 24 horas. Para el muestreo de zooplancton se realizó la filtración *in situ* de un volumen conocido de agua (entre 2 y 9 litros) a través de una malla Nytex de 50 μm . La muestra se fijó con alcohol etílico 70 % vol. (concentración final) y se sedimentó. Se determinó la composición y la abundancia de las muestras de ambas comunidades mediante la observación en microscopio invertido Zeiss Axio Vert. 1 (Zeiss, Alemania; Utermöhl, 1958), de treinta campos de visión, y la ayuda de una guía de identificación (Streble y Krauter, 1987) y de la web AlgaeBase (Guiry y Guiry, 2019).

Para el estudio de la comunidad de macroinvertebrados se realizó un muestreo mediante una red de poro de 100 μm en la zona litoral (hasta los 80 centímetros de profundidad) mediante la técnica de *kick-sampling* (Frost y cols., 1971) y examinando también aquellas rocas que se encontraban en el transecto. Se realizaron cuatro transectos de 4 metros de longitud (procurando abarcar una anchura de unos 30 centímetros, de forma que se muestrearan aproximadamente 5 metros cuadrados por lago) en diferentes puntos de cada uno de los ibones. Las muestras se fijaron con alcohol 70 % vol. (concentración final) y se determinó la composición de la comunidad en cuanto a la familia y el género, cuando fue posible, mediante lupa binocular Leica S9E (Leica, Alemania) en laboratorio, con la ayuda de al menos dos guías de identificación (Tachet y cols., 2010; Osoz y cols., 2011).

Para las tres comunidades estudiadas, se realizó el cálculo de índices taxonómicos básicos como la riqueza (S), el índice de Shannon-Weaver (H') para la diversidad, mediante logaritmo neperiano, y la equitatividad según el índice de Pielou (J').

Análisis estadístico

Se aplicaron test univariados y multivariados para relacionar las variables fisicoquímicas de los ibones con la estructura de la comunidad de invertebrados. Concretamente se realizaron test de correlación de Spearman, Anova y Kruskal-Wallis para obtener las variables fisicoquímicas y agrupar los lagos según las mismas. Previamente a la realización de los test se comprobó la normalidad y la homogeneidad de la varianza. El test NMDS (*non-metric multidimensional scaling*) se realizó con el objetivo de determinar la similitud de las tres comunidades en los lagos estudiados. Con

posterioridad se representaron las variables ambientales y los índices taxonómicos en el diagrama formado por los dos primeros ejes del NMDS. Todos los análisis se llevaron a cabo con el *software* libre R (R Core Team, 2019) y los paquetes R Commander y Vegan.

Estado de conservación: índice ECLECTIC

Se trata de un índice surgido del consenso científico en España, basado en las experiencias dadas por la Directiva Hábitats (Directiva 1992/43/CEE), la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CEE) y el Convenio Ramsar, con el que poder evaluar el estado de conservación de ecosistemas lénticos conjugando sus metodologías, criterios e indicadores. Dicho índice se ha denominado ECLECTIC (Estado de Conservación de las Lagunas y Humedales Españoles Catalogados por Tipologías e Indicadores de Conservación) y es el utilizado en el presente artículo para la determinación del estado de conservación de los tres ibones de Vallibierna. El protocolo de aplicación del mismo para los ibones que ocupan este artículo queda recogido en el apartado 3.4 del documento del grupo 31 y en el tipo de hábitat 3110 con tipología ecológica 2 (Camacho y cols., 2009). Para su aplicación hubo que calcular el índice trófico planctónico (ITP), propuesto por Barbe y cols. (1990), que permite establecer numéricamente y caracterizar el estado trófico de las aguas.

RESULTADOS

Una revisión *de visu* y el estudio de imágenes por satélite de la zona de estudio evidenciaron que los tres ibones están conectados entre sí de manera escalonada, de manera que el situado a mayor altitud, el Ibonet de Vallibierna, vierte sus aguas al Ibón Superior, y este, a su vez, al Inferior (fig. 1).

En cuanto a la granulometría del sustrato predominante en cada ibón, se pudo observar una disminución del diámetro de la partícula conforme aumenta la altitud. De este modo, en el litoral del Ibón Inferior predominan grandes bloques con pequeños tramos de rocas de mediano tamaño (de 10 a 15 centímetros de diámetro), en el Ibón Superior prevalecen las gravas (de 1 a 2 centímetros de diámetro) con tramos de rocas de mediano tamaño y, finalmente, en el Ibonet abundan los limos que recubren un fondo plano con unos pocos bloques y rocas de mediano tamaño en la orilla más meridional.

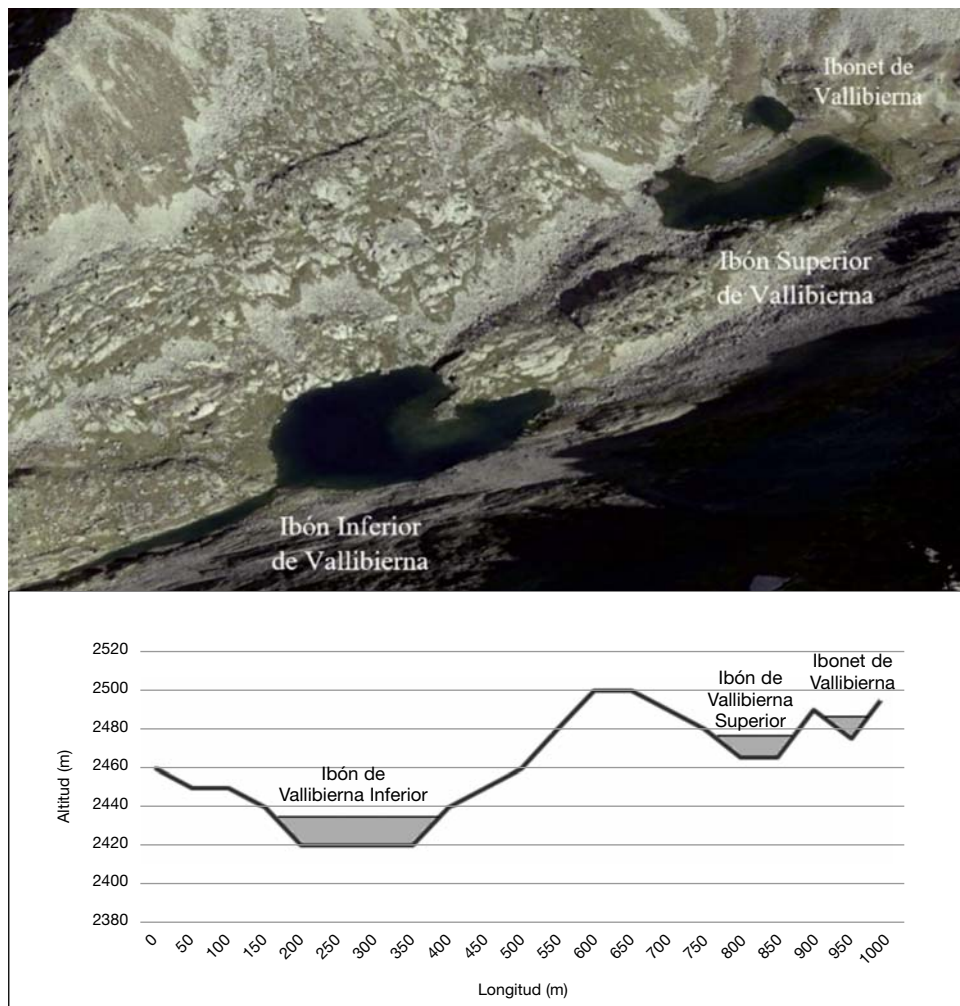


Fig. 1. Imagen por satélite (Google Earth) y perfil topográfico de los ibones de Vallibierna.

La presencia de peces, en concordancia con lo que se cita en algunas normativas de pesca aragonesas (Orden de 9 de enero de 2014), puede considerarse segura para los dos ibones a menor altitud, hecho que evidencian algunos testimonios recabados por el autor de habitantes de la zona y documentos gráficos encontrados *online*. Es muy probable que sea también el caso del Ibonet pero, dados su pequeño tamaño, el relativo aislamiento respecto a los otros dos ibones, la falta de fuentes gráficas y primarias y la no

detección *in situ* de dicha ictiofauna, no se ha podido confirmar la presencia de peces en este pequeño lago.

Determinación de la subcuenca ocupada por cada ibón

Se muestran en la tabla II los resultados obtenidos en el cálculo de la ratio entre el área de las subcuencas y las superficies de cada ibón. Estos resultados serán utilizados más adelante para estudiar su posible influencia en las diferentes características ecológicas analizadas en este artículo.

Tabla II. Resultados obtenidos del análisis mediante GIS de las superficies de los ibones de Vallibierna y sus subcuencas y del posterior cálculo de la ratio SC : SI.

	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Ibonet</i>
<i>Superficie de la cuenca (ha)</i>	191,5	111,90	22,20
<i>Superficie del ibón (ha)</i>	3,9	2,68	0,29
<i>Ratio SC : SI</i>	49,1	41,75	76,55

Análisis de variables fisicoquímicas

Los resultados obtenidos en la medición mediante sonda multiparamétrica de cuatro variables fisicoquímicas (temperatura, concentración de oxígeno, conductividad y pH) se muestran en la tabla III. Se realizaron tres mediciones por cada variable y cada ibón en diferentes puntos.

Tabla III. Media y desviación estándar de las diferentes variables fisicoquímicas en los ibones de Vallibierna mediante mediciones *in situ* con sonda multiparamétrica.

	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Ibonet</i>
<i>Temperatura (°C)</i>	15,63 ± 0,12	18,73 ± 0,51	11,37 ± 0,80
<i>Concentración de O₂ (mg/l)</i>	8,93 ± 0,26	7,67 ± 0,10	9,48 ± 0,06
<i>Conductividad (μS/cm)</i>	23,80 ± 0,72	24,67 ± 1,40	27,50 ± 0,20
<i>pH</i>	8,50 ± 0,10	7,65 ± 0,08	7,80 ± 0,02

Con dichos resultados se realizó un análisis de la varianza (Anova) con el fin de detectar posibles diferencias significativas y semejanzas entre los tres lagos. Previamente se llevaron a cabo un test de Shapiro-Wilk y un test de Levene para comprobar la normalidad y la homogeneidad de la varianza de cada variable respectivamente (figs. 2, 3, 4 y 5).

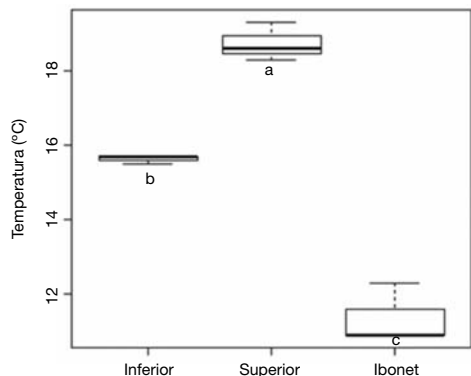


Fig. 2. Diagrama de caja para los valores de temperatura. Se evidencian diferencias significativas entre las mediciones de los tres ibones ($p = 0,00001$; $g. l. = 2, 6$; $F = 132,4$).

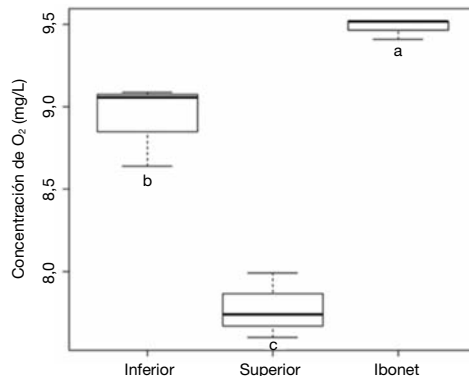


Fig. 3. Diagrama de caja para las concentraciones de oxígeno. Se evidencian diferencias significativas entre las mediciones de los tres ibones ($p = 0,00009$; $g. l. = 2, 6$; $F = 64,15$).

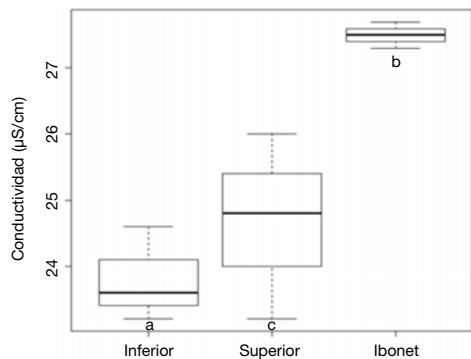


Fig. 4. Diagrama de caja para los valores de la conductividad. Se evidencian diferencias significativas entre los dos ibones de mayor tamaño y el menor ($p = 0,00623$; $g. l. = 2, 6$; $F = 13,3$).

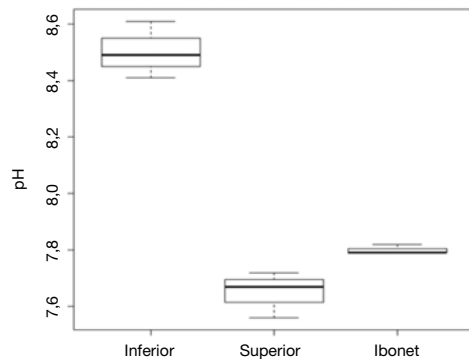


Fig. 5. Diagrama de caja para los valores del pH. Se aprecian diferencias entre los ibones, especialmente entre los dos a mayor altitud y el Inferior ($p = 0,0265$).

Concentración de clorofila *a* planctónica

La concentración de clorofila *a* (Chl. *a*) del fitoplancton de los tres ibones fue baja (tabla IV) y propia de un ambiente oligotrófico ($< 10 \mu\text{g/L}$; Dodds y Smith, 2016).

Tabla IV. Absorbancias y concentración de clorofila *a* planctónica en muestras obtenidas mediante el filtrado in situ de agua de los ibones de Valibierna.

	Concentración de Chl. <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)
<i>Inferior</i>	0,119
<i>Superior</i>	0,459
<i>Ibonet</i>	< 0,01

Comunidad fitoplanctónica

Se encontraron un total de veintiséis géneros diferentes en la metacomunidad fitoplanctónica de los tres ibones. El Superior fue el que mostró mayor riqueza taxonómica; sin embargo, la equitatividad y, por lo tanto, también la diversidad fueron mayores en el Ibonet. Las abundancias específicas de los diferentes géneros en cada lago se muestran en la tabla v.

Tabla V. Composición taxonómica y abundancias encontradas en la comunidad fitoplanctónica de los ibones de Vallibierna.

Abundancias (ind./L) • 300–1500 • 1500–5000 ● 5000–50 000 ●● > 50 000

<i>Grupo</i>	<i>Género</i>	<i>Abundancias (ind./L)</i>		
		<i>Ibón Inferior</i>	<i>Ibón Superior</i>	<i>Ibonet</i>
Chlorophyta	<i>Pediastrum</i>		•	
	<i>Scenedesmus</i>		•	
Chrysophyta	<i>Chrysococcus</i>			•
	<i>Dinobryon</i>	•	•	•
Cryptophyta	<i>Chilomonas</i>			•
	<i>Rhodomonas / Cryptomonas</i>	•	●	•
Cyanobacteria	<i>Merismopedia</i>			•
	<i>Nostoc</i>		•	
	<i>Oscillatoria</i>	•	•	•
Diatomea	<i>Achnanthes</i>	•		
	<i>Amphora</i>			•
	<i>Cyclotella</i>	●	●	
	<i>Cymbella</i>	•	•	•
	<i>Diatoma</i>	•	•	
	<i>Elakatothrix</i>		•	

Tabla V. Continuación

Grupo	Género	Abundancias (ind./L)		
		Ibón Inferior	Ibón Superior	Ibonet
Diatomea	<i>Eunotia</i>		•	
	<i>Frustulia</i>		•	
	<i>Gomphonema</i>		•	•
	<i>Navicula</i>	•	•	•
	<i>Nitzschia</i>	•	•	•
	<i>Pinnularia</i>	•	•	
	<i>Rhoicosphenia</i>	•	•	•
	<i>Stauroneis</i>	•		•
	<i>Surirella</i>		•	•
	<i>Synedra</i>		•	
	<i>Tabellaria</i>		•	
Abundancia total (ind./L)		88 809	109 197	16 587
Riqueza (S)		12	20	14
Diversidad (H')		0,913	1,614	2,416
Equitatividad (J')		1,248	1,596	4,799

Tabla VI. Composición taxonómica y abundancias encontradas en la comunidad zooplanctónica de los ibones de Vallibierna.

Abundancias (ind./L) • 300 – 600 • > 600

Grupo		Género / Especie	Abundancias (ind./L)		
			Ibón Inferior	Ibón Superior	Ibonet
Crustacea	Cladocera	<i>Daphnia</i>		•	•
	Copepoda	<i>Boeckella</i>	•		
	Ostracoda	<i>Cyclocypris</i>		•	
Rotifera	Brachionidae	<i>Kellicottia longispina</i>	•	•	
		<i>Notholca squamula</i>			•
Zooflagellata	—	—	•		
Abundancia total (ind./L)			1728	2073	1382
Riqueza (S)			3	3	2
Diversidad (H')			1,055	1,099	0,693
Equitatividad (J')			2,5	3	2

Comunidad zooplanctónica

En los tres ibones analizados se encontraron un total de seis taxones, entre crustáceos y rotíferos (tabla VI). El ibón con mayor abundancia y diversidad es el Superior, mientras que el Ibonet presenta las estadísticas más bajas.

Comunidad de macroinvertebrados

A continuación se ofrecen los resultados obtenidos en el análisis de las muestras de macroinvertebrados (tabla VII). La ausencia de datos sobre niveles taxonómicos inferiores (géneros o familias, según el grupo) se debe a la complejidad de la clasificación que ello supone, que escapa, por tanto, a los objetivos del presente artículo. Si bien en el Ibón Inferior se dio una clara

Tabla VII. Composición taxonómica y abundancias encontradas en la comunidad de macroinvertebrados de la zona litoral de los ibones de Vallibierna.

Abundancias (ind./L) • 0-10 • 10-50 • 50-150 ● > 150

<i>Número de individuos en la muestra (ind./5 m²)</i>					
<i>Grupo</i>	<i>Familia</i>	<i>Ibón Inferior</i>	<i>Ibón Superior</i>	<i>Ibonet</i>	<i>Género</i>
Bivalvia	Sphaeriidae	•	•	•	<i>Pisidium</i>
Coleoptera	Curculionidae	•	•	•	—
	Dytiscidae	•	•	•	<i>Oreodytes, Platambus, Melodema</i>
Diptera	Chironomidae	●	●	●	—
	Limoniidae			•	—
Heteroptera	Corixidae	●	•		<i>Arctocorisa</i>
Hydracarina	—	•		•	—
Megaloptera	Sialidae	•	•	•	<i>Sialis</i>
Oligochaeta	—	•	●	•	—
Plecoptera	Perlodidae	•			<i>Perlodes</i>
Trichoptera	Limnephilidae	•	•	•	—
	Polycentropodidae	•		•	<i>Plectrocnemia, Polycentropus</i>
Riqueza (S)	—	11	8	10	—
Diversidad (H')	—	1,289	1,614	1,023	—
Equitatividad (J')	—	1,88	3,305	1,437	—

dominancia de la familia Corixidae, en el Superior destacó una abundancia mucho más homogénea de estos tres grupos, mientras que en el Ibonet dominó por completo la familia Chironomidae.

Comparación entre las comunidades y las características ambientales

Se realizaron test multivariantes de tipo *non-metric multidimensional scaling* (NMDS) para comparar las comunidades de los tres ibones y valorar su semejanza. Se obtuvo un *stress* de 0, por lo que los tres puntos quedan perfectamente representados en el gráfico (lo cual es esperable al tratarse de un número bajo de comunidades —dimensiones— que comparar). Sobre dicha representación se indicaron las variables de tipo ambiental, de forma que se pueda visualizar cómo se relacionan con los tres lagos del estudio. La imagen gráfica de estos resultados (figs. 6 y 7) permite la comparación de los tres

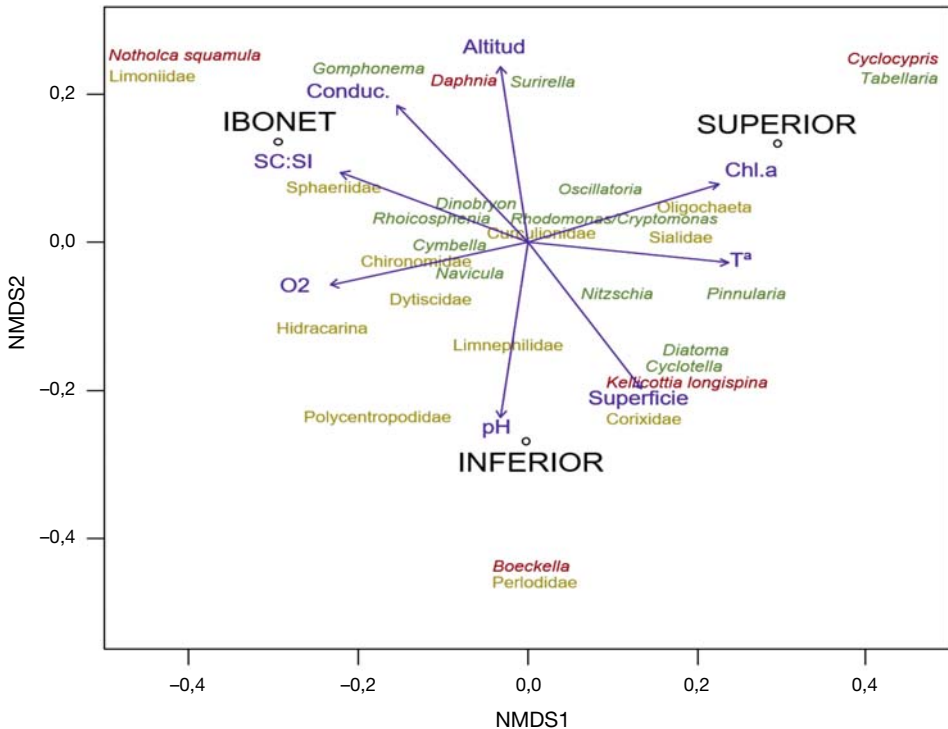


Fig. 6. Representación gráfica de NMDS para todas las comunidades estudiadas de los tres ibones (*stress* = 0) y las variables fisicoquímicas.

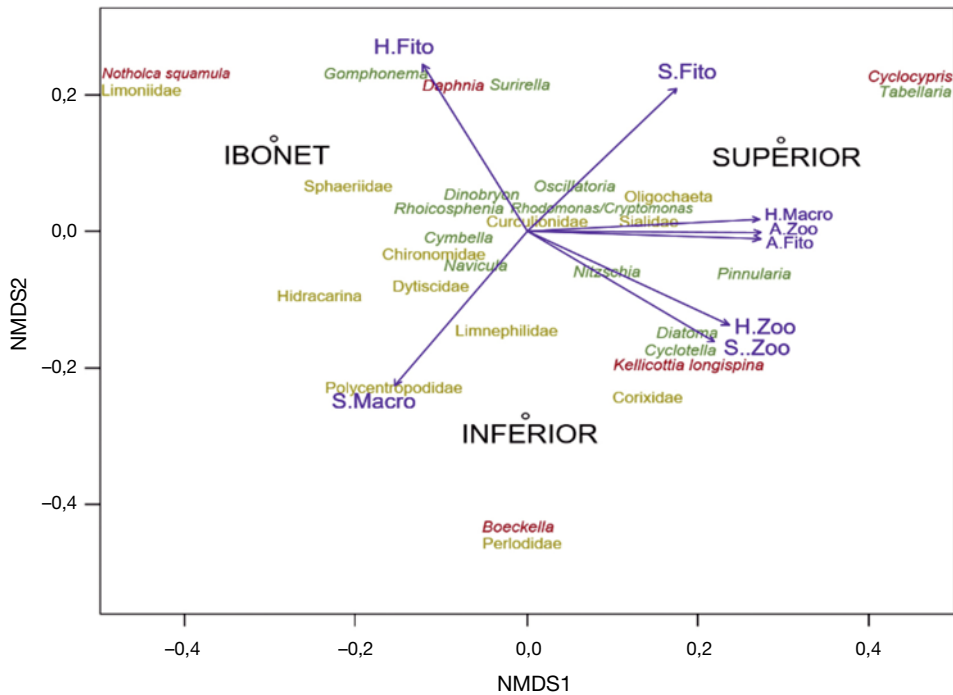


Fig. 7. Representación gráfica de NMDS para todas las comunidades estudiadas de los tres ibones ($stress = 0$) junto a su riqueza (S), su diversidad (H) y su abundancia (A).

lagos en cuanto a sus características ecológicas, tanto por sus comunidades como por sus variables fisicoquímicas.

Estado de conservación de los tres ibones: índice ECLECTIC

Se determinó el índice ECLECTIC en los tres ibones del estudio a fin de determinar su estado de conservación (tabla VIII). Se muestran y se justifican brevemente los resultados obtenidos en cada bloque del índice, así como el estado de conservación de cada uno de los ibones en función del valor final del índice.

Tabla VIII. Puntuación obtenida por cada uno de los ibones de Vallibierna en los diferentes bloques y apartados de aplicación del índice ECLECTIC.

		<i>Ibón Inferior</i>	<i>Ibón Superior</i>	<i>Ibonet</i>
<i>Vegetación característica</i>	Vegetación sumergida	0	0	0
	Vegetación marginal	10	10	10
	Diversidad de la vegetación	5	5	5
	<i>Total del bloque 1</i>	<i>12,5</i>	<i>12,5</i>	<i>12,5</i>
<i>Resto de variables biológicas</i>	Concentración de clorofila <i>a</i>	10	10	10
	Índice trófico planctónico (ITP)	10	10	10
	Familias de macroinvertebrados	5	0	5
	Taxones de importancia	10	10	5
	Anfibios o reptiles autóctonos	5	5	5
	Flora y fauna exóticas	-1	-1	-1
	<i>Total del bloque 2</i>	<i>25</i>	<i>24,6</i>	<i>24,6</i>
<i>Hidrogeomorfología</i>	Superficie del hábitat	20	20	20
	Sistema de llenado	10	10	10
	Sistema de vaciado	10	10	10
	Hidroperiodo	10	10	10
	Modelado de la ribera	10	10	10
	Colmatación	10	10	5
	<i>Total del bloque 3</i>	<i>25</i>	<i>25</i>	<i>22,5</i>
<i>Factores fisicoquímicos</i>	Transparencia del agua	10	10	10
	Mineralización del agua	10	10	10
	pH	5	5	5
	Nutrientes	0	0	0
	<i>Total del bloque 4</i>	<i>15,6</i>	<i>15,6</i>	<i>15,6</i>
<i>Resultado del índice ECLECTIC</i>		<i>78,1</i>	<i>77,8</i>	<i>75,3</i>
<i>Estado de conservación</i>		<i>Favorable</i>	<i>Favorable</i>	<i>Favorable</i>

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados de este artículo permiten considerar los tres ibones de Vallibierna como ecosistemas individualmente diferenciados, que difieren tanto en sus características fisicoquímicas como biológicas, como previamente estableció Margalef (1949). Los tres lagos están situados

muy próximos entre sí y comparten una misma cuenca; sin embargo, las diferencias existentes entre la superficie de su subcuenca y la de cada lago pueden explicar algunas de las diferencias fisicoquímicas y biológicas encontradas (Camarero y cols., 2009; Jacquemin y cols., 2019). Los tipos de sustrato predominantes de cada ibón fueron diferentes, probablemente como resultado de las distintas características de sus subcuencas. Entre estas características están las consecuencias de los resultados obtenidos para la ratio SC : SI, tales como la mayor conductividad y la dominancia del sustrato limoso en el Ibonet.

Respecto a los resultados obtenidos para el oxígeno y la temperatura, cabe puntualizar que las diferencias encontradas entre los tres lagos deben ser consideradas resultado de las diferencias de horario del muestreo. Dado que un mayor número de horas de insolación conduce lógicamente a una mayor temperatura de la masa de agua, también conlleva una menor solubilidad del oxígeno. De este modo, las diferencias encontradas para estas variables coinciden con las horas a las que se analizaron en cada ibón; fue, por ejemplo, el Ibonet el que se estudió más temprano.

Atendiendo a la bibliografía disponible sobre la concentración de clorofila *a*, si bien los resultados de los tres ibones objeto de estudio son diferentes entre sí, se encuentran en rangos similares a los de algunos ibones asimilables a los aquí estudiados, como puedan ser el ibón de Cregüeña, el Blanco de Lliterola, el de Bachimala Superior o el de Pixón, mientras que otros muy cercanos y aparentemente parecidos, como el ibón de Llosás, presentan valores muy diferentes (Guisande y cols., 2003).

No se apreció una relación directa entre la concentración de clorofila *a*, el pH y la concentración de oxígeno, dado que el Ibón Inferior mostró una menor concentración de clorofila *a* que el Superior pero un pH y una concentración de oxígeno mayores. Lo cierto es que la biomasa de fitoplancton es muy baja y posiblemente no pueda llegar a afectar al pH o a la concentración de oxígeno. Sin embargo, sería deseable la realización de experimentos de producción y respiración bentónicas en el futuro para tratar de estimar la influencia de dicho proceso en estos resultados.

En cuanto al fitoplancton, destaca la ausencia total de dinoflagelados en la metacomunidad de los tres lagos, pues mientras una parte importante de la bibliografía habla acerca de grandes diferencias biogeográficas entre las

comunidades planctónicas de este tipo de lagos (Filker y cols., 2016) o de una distribución modesta de dicho grupo (Triadó-Margarit y Casamayor, 2012), otra se refiere, por el contrario, a una importante dominancia y distribución de los dinoflagelados en los lagos pirenaicos, por encima incluso de las diatomeas (Ortiz-Álvarez y cols., 2018). Sin embargo, cabe recordar que estos tres estudios fueron realizados con una metodología muy diferente a la del presente artículo (análisis de DNA ribosómico). Por otro lado, la mayor diversidad fitoplanctónica que el Ibonet presenta con respecto a los otros dos ibones parece estar relacionada con la mayor ratio SC : SI. Del mismo modo que por esta condición el Ibonet presenta una conductividad superior a los otros dos, cabe esperar en él una mayor concentración de materia orgánica en suspensión debida a los materiales alóctonos importados del ecosistema terrestre (Jacquemin y cols., 2019). La relación entre una mayor concentración de materia orgánica en suspensión y una mayor diversidad fitoplanctónica podría explicarse atendiendo a los resultados obtenidos para la comunidad de macroinvertebrados. Una mayor concentración de materia orgánica en suspensión supondría una ventaja para organismos con estrategias tróficas filtradoras, como lo es uno de los grupos de macroinvertebrados dominantes en este lago: el género *Pisidium*. La mayor abundancia de este grupo, dada la naturaleza pasiva de la alimentación por filtración, habría diversificado la comunidad de fitoplancton mediante un proceso *top-down* (McQueen y cols., 1986) que se evidenciaría en la desaparición o en la disminución de ciertos grupos abundantísimos en los otros dos lagos, tales como *Cyclotella*.

Este proceso ha sido descrito en otros trabajos atendiendo al efecto resultante de una abundancia de especies filtradoras de zooplancton sobre la diversidad del fitoplancton (Sarnelle, 2005). Sin embargo, conviene recordar que el Ibonet es el ibón más oligotrófico de los tres y que, por tanto, esta relación basada en una mayor llegada de materia orgánica alóctona no puede ser tomada con rotundidad. Otra posibilidad es que esta diferencia en la diversidad fitoplanctónica pueda ser debida a la probable ausencia de peces en este pequeño lago, dado que su presencia en los dos mayores podría ser la causa del mayor grado de eutrofia de estos últimos (Ventura y cols., 2017).

En cuanto a los organismos encontrados en la comunidad zooplanctónica, ya se ha citado con anterioridad que dos de los géneros hallados en la

metapoblación de los tres ibones (*Daphnia* y *Kellicottia*) son considerados muy comunes en este tipo de lagos (Miracle, 1978b), así como un trabajo que describe el género *Daphnia* como un depredador clave que puede provocar cambios importantes en la estructura del fitoplancton, dada su alimentación basada en la filtración y, por tanto, llevando a cabo un proceso pasivo de selección por tamaños (Sarnelle, 2005). Por otro lado, *Kellicottia longispina* es una especie cosmopolita, que habita incluso aguas marinas (Edmondson y Litt, 1989), mientras que el resto de géneros o especies encontrados no han sido citados con anterioridad en lagos del Pirineo español (Miracle, 1978a, 1978b), por lo que cabe comentar algunas de sus características.

Notholca squamula es un rotífero planctónico del cual dice Manuel (2000) que se caracteriza por ser un estenotermo de aguas frías y por su frecuencia en ambientes litorales muy diferentes (con tolerancia frente a un amplio rango de salinidad, es la especie más abundante del género en la península ibérica), para el que concreta Ruttner-Kolisko (1974) que es común en lagos alpinos. Del mismo modo, *Cyclocypris* requiere de temperaturas frías, por lo que es muy común en el norte de Europa pero no tanto en la península ibérica, salvo en este tipo de lagos (Mesquita-Joanes y cols., 2002). Finalmente, cabe destacar que los representantes del género *Boeckella* encontrados y sus huevas presentaron una coloración probablemente resultado de la producción de carotenoides como protección frente a la radiación solar (Tartarotti y cols., 1999).

Los grupos de macroinvertebrados que alcanzaron las mayores oscilaciones de abundancia en los diferentes ibones y, por tanto, los que mayor influencia tienen sobre la diversidad de cada lago son aquellos que cumplen el papel de consumidores primarios: los quironómidos (Armitage y cols., 1995), los corixidos (Tachet y cols., 2010) y los oligoquetos. El hecho de que el grupo más abundante de la metacomunidad de macroinvertebrados de los tres ibones sea el de los dípteros, y en concreto la familia Chironomidae, queda recogido por diversos estudios en otros ibones y lagos pirenaicos (Mendoza y Catalán, 2010; Laville, 1971). Dicha abundancia es de gran importancia dado que esta familia suele dominar en un escalafón clave de las cadenas tróficas lénticas: la conexión entre los productores primarios y los consumidores secundarios (Armitage y cols., 1995). Del mismo modo,

los oligoquetos se citan como un grupo típicamente dominante en los lagos de alta montaña (Füreder y cols., 2006).

Por tanto, el Ibón Inferior de Vallibierna, el de mayor tamaño y menor altitud de los tres, se caracteriza por un sustrato de grandes bloques y un pH elevado con respecto a los otros dos. Su comunidad fitoplanctónica presenta una baja riqueza debido a la dominancia de géneros como *Cyclotella*. La abundancia de esta comunidad concuerda con los resultados de la concentración de clorofila *a*. Presentó, asimismo, la mayor riqueza de macroinvertebrados. El Ibón Superior de Vallibierna, por su lado, con una superficie similar al anterior, mostró un sustrato más dominado por gravas. La concentración de clorofila *a* encontrada en él fue la más elevada y coincide con la mayor abundancia y riqueza del fitoplancton. Además, presentó la mayor abundancia, riqueza y diversidad de zooplancton y la mayor diversidad de macroinvertebrados a pesar de la baja riqueza que tuvo este último grupo. Finalmente, el Ibonet, el lago situado a mayor altitud, se caracterizó por ser un ibón de pequeñas dimensiones (el menor de los tres) y presentar una elevada ratio SC : SI y, consecuentemente, una mayor conductividad y un sustrato con predominancia de limos. Se trata del lago más oligotrófico de los tres, coincidente con una escasa abundancia fitoplanctónica pero también del zooplancton. Sin embargo, presentó la mayor diversidad fitoplanctónica de los tres ibones como resultado de una elevada equitatividad. A pesar de tener mayor riqueza de macroinvertebrados que el Ibón Superior, mostró una diversidad muy baja para este grupo.

Por último, en cuanto a la aplicación del índice ECLECTIC, cabe puntualizar que la evaluación obligatoria de la vegetación sumergida resulta poco lógica para estos sistemas, dado que en otros ibones situados a gran altitud (por encima de los 2200 metros) visitados con anterioridad por el autor, tales como Millás, Lenés, del Sen, Gorgutes, Còth deth Hòro (Coll de Toro), Cre-güeña, Coronas, Estany de Cap de Llauset..., es muy frecuente la inexistencia de vegetación sumergida debido, entre otras razones, a la ausencia total de sustrato terroso, si bien su presencia no es inusitada en ibones en avanzado estado de colmatación como el ibón menor de la Solana de Gorgutes o el Ibonet de Batisielles, entre otros. De todos modos, fue igualmente evaluada (con el menor valor posible dada la ausencia de este tipo de vegetación en los tres ibones del estudio) para no alterar positivamente el

resultado del índice. Por otro lado, los más que probables efectos negativos causados por la presencia de ictiofauna (Ventura y cols., 2017) suponen una penalización en la aplicación del índice en los ibones de Vallibierna. En el caso de estudio, precisamente es este problema el que más compromete la conservación de los tres ibones (sin tener certeza de su presencia en el Ibonet). Si bien aún no parece tener consecuencias graves sobre el estado trófico de los lagos, es probable que sus consecuencias sobre la comunidad se hayan producido ya, resultando en alteraciones de su estructura, en pérdida de taxones y en alteración de abundancias relativas.

CONCLUSIONES

El pH del Ibón Inferior fue significativamente más elevado que el de los otros dos lagos del estudio. La conductividad del Ibonet fue de manera reveladora más alta que la de los otros dos ibones. El estado trófico, según los resultados de concentración de clorofila *a*, indicó un muy buen estado ecológico de los tres.

Los ibones del estudio presentaron diferencias en cuanto a su sustrato y sus comunidades bentónicas y planctónicas:

El grupo planctónico más ampliamente distribuido y abundante entre los tres sistemas fue el de las diatomeas. En la comunidad fitoplanctónica de los dos ibones situados a menor altitud dominaron los géneros *Cyclotella* y *Nitzschia*, mientras que el Ibonet presentó abundancias más homogéneas, por lo que es el más diverso para esta comunidad.

La metacomunidad zooplanctónica tuvo una riqueza muy baja y mostró la mayor abundancia en el Ibón Superior. La metacomunidad bentónica de los tres lagos estuvo dominada por especies de la subclase Oligochaeta y las familias Chironomidae (Diptera) y Corixidae (Heteroptera), si bien esta última no apareció en el Ibonet.

El Ibón Superior de Vallibierna presentó la mayor diversidad de macroinvertebrados, a pesar de haber una mayor riqueza de familias en el Inferior.

Los tres ibones del estudio poseen un estado de conservación favorable pero la presencia de peces supone una amenaza para su conservación, tal y como se desprende de la aplicación del índice ECLECTIC.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a María Luisa Pérez, Pablo Arias, Alodia Rubio y Marina Klaas la ayuda prestada en los muestreos y el transporte de material, así como la colaboración de Diego Mota como compañero durante las tareas de laboratorio. Dentro del ámbito académico ha sido también de un importante apoyo, por sus consejos y sus indicaciones, Ernesto Pérez, como lo ha sido Natividad Miguel en el desarrollo de algunos procesos analíticos. Nuestro más sincero agradecimiento a todos ellos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arim, M., F. Bozinovic y A. Marquet (2007). On the relationship between trophic position, body mass and temperature: reformulating the energy limitation hypothesis. *Oikos*, 116 (9): 1254-1530 <<https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15768.x>>.
- Armitage, P. D., P. S. Cranston y L. C. V. Pinder (1995). *The Chironomidae: The Biology and Ecology of the Non-Biting Midges*. Chapman & Hall. Londres.
- Barbe, J., E. Lavergne, G. Rofes, M. Lascombe, B. C. Rivas, C. H. Bornard y J. de Benedittis (1990). Diagnose rapide des plans d'eau. *Informations Techniques du Cemagref*, 79: 1-8 <<https://hal.inrae.fr/hal-02609029>>.
- Bartrons, M., y J. Catalán, J. (2012). High bacterial diversity in epilithic biofilms of oligotrophic mountain lakes. *Microbial Ecology*, 64 (4): 860-869 <<https://cutt.ly/MJWc6xZ>>.
- Camacho, A., C. Borja, B. Valero-Garcés, M. Sahuquillo, S. Cirujano, J. M. Soria, E. Rico, Á. de la Hera, A. C. Santamans, A. García de Domingo, Á. Chicote y R. U. Gosálvez (2009). 31 aguas continentales retenidas: ecosistemas leníticos de interior. En *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España* <<https://www.miteco.gob.es/en/biodiversidad/temas/espacios-prottegidos/>>. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal. Madrid.
- Camarero, L., M. Rogora, R. Mosello, N. J. Anderson, A. Barbieri, I. Botev y R. F. Wright (2009). Regionalisation of chemical variability in European mountain lakes. *Freshwater Biology*, 54 (12): 2452-2469 <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02296.x>>.
- Catalán, J., E. Ballesteros, L. Camarero, M. Felip y E. García (1992). Limnology in the Pyrenean lakes. *Limnetica*, 8 (1): 27-38 <<https://cutt.ly/3JWvmzJ>>.
- Catalán, J., L. Camarero, M. Felip, S. Pla, M. Ventura, T. Buchaca, F. Bartumeus, G. de Mendoza, A. Miró, E. O. Casamayor, J. M. Medina-Sánchez, M. Bacardit, M. Altuna, M. Bartrons y D. D. de Quijano (2006). High mountain lakes: extreme habitats and witnesses of environmental changes. *Limnetica*, 25: 551-584 <<https://cutt.ly/hJWvJqO>>.

- Decreto 204/2010, de 2 de noviembre, del Gobierno de Aragón, por el que se crea el Inventario de Humedales Singulares de Aragón y se establece su régimen de protección. *Boletín Oficial de Aragón*, n.º 220, Zaragoza, 11 de noviembre de 2010.
- Decreto legislativo 1/2015, de 29 de julio, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Espacios Naturales de Aragón. *Boletín Oficial de Aragón*, n.º 151, Zaragoza, 6 de agosto de 2015.
- Directiva 1992/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, n.º 206, Bruselas, 22 de julio de 1992.
- 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. *Diario Oficial de la Unión Europea*, Bruselas, 22 de diciembre de 2000.
- Directiva 2009/147/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de noviembre de 2009, relativa a la conservación de las aves silvestres. *Diario Oficial de la Unión Europea*, L 20, Bruselas, 26 de enero de 2010.
- Dodds, W. K., y V. H. Smith (2016). Nitrogen, phosphorus and eutrophication in streams. *Inland Water*, 6 (2): 155-164 <<https://doi.org/10.5268/IW-6.2.909>>.
- Edmondson, W. T., y A. H. Litt (1989). Morphological variation in *Kellicottia longispina*. *Hydrobiologia*, 186-187: 109-117 <<https://doi.org/10.1007/BF00048902>>.
- Filker, S., R. Sommaruga, I. Vila y T. Stoeck (2016). Microbial eukaryote plankton communities of high-mountain lakes from three continents exhibit strong biogeographic patterns. *Molecular Ecology*, 25 (10): 2286-2301 <<https://doi.org/10.1111/mec.13633>>.
- Frost, S., A. Huni y E. Kershaw (1971). Evaluation of a kicking technique for sampling stream bottom fauna. *Canadian Journal of Zoology*, 49 (2): 167-173 <<https://cutt.ly/jJWv5IS>>.
- Füreder, L., R. Ettinger, A. Boggero, B. Thaler y H. Thies (2006). Macroinvertebrate diversity in Alpine lakes: effects of altitude and catchment properties. *Hydrobiologia*, 562: 123-144 <<https://doi.org/10.1007/s10750-005-1808-7>>.
- Guiry, M. D., y G. M. Guiry (2019). *AlgaeBase: World-wide electronic publication* <<https://www.algaebase.org>>. National University of Ireland. Galway.
- Guisande, C., F. Bartumerus, M. Ventura y J. Catalán (2003). Role of food partitioning in structuring the zooplankton community in mountain lakes. *Oecologia*, 136: 627-635 <<https://doi.org/10.1007/s00442-003-1306-4>>.
- Instituto Geográfico Nacional (2017). Visor Iberpix 4 <<https://www.ign.es/iberpix2/visor/>>. Madrid.
- Jacquemin, C., C. Bertrand, E. Franquet, S. Mounier, B. Misson, B. Oursel y L. Cavalli (2019). Effects of catchment area and nutrient deposition regime on phytoplankton functionality in alpine lakes. *Science of the Total Environment*, 674: 114-127 <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.117>>.

- Korbee, N., P. Carrillo, M. T. Mata, S. Rosillo, J. M. Medina-Sánchez y F. L. Figueroa (2012). Effects of ultraviolet radiation and nutrients on the structure-function of phytoplankton in a high mountain lake. *Photochemistry and Photobiology*, 11 (6): 1087-1098 <<https://doi.org/10.1039/c2pp05336e>>.
- Lampre, F., J. Romeo y L. J. Cruchaga (2009). *El gran libro de los ibones y glaciares del Pirineo aragonés*. Prames. Zaragoza.
- Lampre, V. (2001). Clima de alta montaña y sistemas morfoclimáticos fríos en el macizo de la Maladeta (Pirineo aragonés). *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, 52: 195-232 <<https://www.raco.cat/index.php/treballsscgeografia/article/viewFile/221070/301875>>.
- Laville, H. (1971). Recherches sur les chironomides (Diptera) lacustres du massif de Néouvielle (Hautes-Pyrénées). *Annales de Limnologie*, 7 (3): 335-414 <<https://cutt.ly/pJWb9dJ>>.
- Le Cren, E. D., y R. H. Lowe-McConnell (1980). *The functioning of freshwater ecosystems*. Cambridge UP. Cambridge.
- Ley 8/2004, de 20 de diciembre, del Gobierno de Aragón, de medidas urgentes en materia de medio ambiente. *Boletín Oficial de Aragón*, n.º 151, Zaragoza, 27 de febrero de 2005.
- Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. *Boletín Oficial del Estado*, n.º 299, Madrid, 14 de diciembre de 2007.
- Manuel, J. de (2000). The rotifers of Spanish reservoirs: Ecological, systematical and zoogeographic remarks. *Limnetica*, 19: 91-167 <<https://cutt.ly/jJWnmul>>.
- Margalef, R. (1949). La vida en los lagos de alta montaña de los Pirineos. *Pirineos*, 11-12: 5-31 <<http://hdl.handle.net/10261/165366>>.
- Martínez de Pisón, E. (1990). Morfoestructuras del valle de Benasque (Pirineo aragonés). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 10: 121 <<https://cutt.ly/2JWnPuF>>.
- McMinn, A., y A. Martin (2013). Dark survival in a warming world: Proceedings. *Biological Sciences*, 280 (1755): 20122909 <<https://doi.org/10.1098/rspb.2012.2909>>.
- McQueen, D. J., J. R. Post y E. L. Mills (1986). Trophic relationships in freshwater pelagic ecosystems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 43: 1571-1581 <<https://doi.org/10.1139/f86-195>>.
- Mendoza, G. de, y J. Catalán (2010) Lake macroinvertebrates and the altitudinal environmental gradient in the Pyrenees. *Hydrobiologia*, 648: 51-72 <<https://cutt.ly/lJWQoQr>>.
- Mesquita-Joanes, F., M. D. Boronat y M. R. Miracle (2002). The life history of *Cyclo-cypris ovum* (Ostracoda) in a permanent karstic lake. *Archiv für Hydrobiologie*, 155 (4): 687-704 <<https://doi.org/10.1127/archiv-hydrobiol/155/2002/687>>.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2013). *Protocolo de análisis y cálculo de métricas de fitoplancton en lagos y embalses* <<https://cutt.ly/nJWQRd0>>. Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado. Madrid.

- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y Ministerio para la Transición Ecológica (2010). GeoPortal <<https://sig.mapama.gob.es/geoportal/>>. Madrid.
- Miracle, M. R. (1978a). Composición específica de las comunidades zooplanctónicas de 153 lagos de los Pirineos y su interés biogeográfico. *Oecologia aquatica*, 3: 167-191 <<https://revistes.ub.edu/index.php/oecologiaaquatica/article/view/26946>>.
- Miracle, M. R. (1978b). Historical and ecological factors concurring in the distribution, biometry and fertility of planktonic crustaceans in Pyrenean lakes. *SIL Proceedings*, 1922-2010, 20 (3): 1657-1663 <<https://doi.org/10.1080/03680770.1977.11896748>>.
- Miró, A., I. Sabás y M. Ventura (2018). Large negative effect of non-native trout and minnows on Pyrenean lake amphibians. *Biological Conservation*, 218: 144-153 <<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.12.030>>.
- Orden de 9 de enero de 2014, del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente por la que se aprueba el Plan General de Pesca de Aragón para el año 2014. *Boletín Oficial de Aragón*, n.º 22, Zaragoza, 31 de enero de 2014.
- Ortiz-Álvarez, R., X. Triadó-Margarit, L. Camarero, E. O. Casamayor y J. Catalán (2018). High planktonic diversity in mountain lakes contains similar contributions of autotrophic, heterotrophic and parasitic eukaryotic life forms. *Scientific Reports*, 8 (4457) <<https://doi.org/10.1038/s41598-018-22835-3>>.
- Oscos, J., D. Galicia y R. Miranda (2011). *Clave dicotómica para la identificación de macroinvertebrados de la cuenca del Ebro*. Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza. Disponible en <<http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=27937>>.
- Plante, C., y J. A. Downing (1989). Production of freshwater invertebrate populations in lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46: 1489-1498 <<https://doi.org/10.1139/f89-191>>.
- R Core Team (2019). *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Viena. Disponible en <<https://www.R-project.org/>>.
- Ruttner-Kolisko, A. (1974). *Plankton rotifers: Biology and taxonomy*. Lubrecht & Cramer Ltd. Stuttgart.
- Sarnelle, O. (2005). Daphnia as keystone predators: effects on phytoplankton diversity and grazing resistance. *Journal of Plankton Research*, 27 (12): 1229-1238 <<https://doi.org/10.1093/plankt/fbi086>>.
- Schilling, E. G., C. S. Loftin y A. D. Huryn (2009). Macroinvertebrates as indicators of fish absence in naturally fishless lakes. *Freshwater Biology*, 54 (1): 181-202 <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.02096.x>>.
- Streble, H., y D. Krauter (1987). *Atlas de los microorganismos de agua dulce: la vida en una gota de agua*. Omega. Barcelona.
- Tachet, H., P. Richoux, M. Bournaud y P. Usseglio-Polatera (2010). *Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie*. CNRS. París.

- Tartarotti, B., S. Cabrera, R. Psenner y R. Sommaruga (1999). Survivorship of *Cyclops abyssorum taticus* (Cyclopoida, Copepoda) and *Boeckella gracilipes* (Calanoida, Copepoda) under ambient levels of solar UVB radiation in two high-mountain lakes. *Journal of Plankton Research*, 21 (3): 549-560 <<https://doi.org/10.1093/plankt/21.3.549>>.
- Triadó-Margarit, X., y E. O. Casamayor (2012). Genetic diversity of planktonic eukaryotes in high mountain lakes (Central Pyrenees, Spain). *Environmental Microbiology*, 14 (9): 2445-2456 <<https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2012.02797.x>>.
- Utermöhl, H. (1958). *Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik*. Schweizertbart. Stuttgart.
- Ventura, M., R. Tiberti, T. Buchaca, D. Buñay, I. Sabás y A. Miró (2017). Why Should We Preserve Fishless High Mountain Lakes? En J. Catalan, J. M. Ninot y M. M. Aniz (2017). *High Mountain Conservation in a Changing World*: 181-205 <https://doi.org/10.1007/978-3-319-55982-7_8>. Springer Internacional Publishing (Advances in Global Change Research, 62).
- Wissinger, S. A., B. Oertli y V. Rosset (2016). Invertebrate communities of alpine ponds. En D. P. Batzer y D. Boix. *Invertebrates in Freshwater Wetlands: An International Perspective on Their Ecology*: 55-104 <<https://doi.org/10.1007/978-3-319-24978-0>>. Springer Internacional Publishing.