

CARACTERIZACIÓN DEL COMPLEJO LACUSTRE GLACIAR DE ALTA MONTAÑA DE SIERRA SEGUNDERA (NO DE ZAMORA)

Characterization of the high mountain glacial lake complex of Sierra Segundera (NW Zamora, Spain)

Javier Morales^{1,*}, Ana I. Negro²

¹Área de Biología Animal, Campus Miguel de Unamuno. Universidad de Salamanca.

² Área de Ecología, Campus Miguel de Unamuno. Universidad de Salamanca.

Identificador ORCID de los autores y e-mail:

¹ Javier Morales: <https://orcid.org/0000-0002-7063-563X>. E-mail: mormarja@usal.es

² A.I. Negro: <https://orcid.org/0000-0002-4541-6427>. E-mail: negro@usal.es

*Autor corresponsal

Recibido: 20-02-2020. **Aceptado:** 07-10-2020. **Fecha de publicación on-line:** 31/05/2021

Citation/ Cómo citar este artículo: Morales J., Negro A. I. (2021). Caracterización del complejo lacustre glaciario de alta montaña de sierra segundera (NO de Zamora). *Pirineos*, 176, e063. <https://doi.org/10.3989/pirineos.2021.176001>

RESUMEN: El estudio de humedales de alta montaña presenta un gran interés en la Península Ibérica ya que son elementos singulares herencia de la última glaciación, y además albergan biocenosis muy relevantes en biogeografía y conservación por su aislamiento y singularidad. En este trabajo se desarrolla en detalle la distribución, morfogénesis y tipologías lacustres presentes en el complejo glaciario de Sierra Segundera, situado mayoritariamente en la cabecera del río Tera (NO de Zamora), aguas arriba del lago de Sanabria. Se han catalogado 340 elementos acuáticos en una red de drenaje de 258 km sobre una superficie superior a 10.600 ha, que drena un promedio anual de agua superior a 120 hm³. Se incluyen datos hidrográficos y batimétricos de las 19 lagunas y turberas naturales de mayor tamaño, situadas a una altitud superior a 1500 msnm. En ellas habitan singulares comunidades biológicas, micro y macroscópicas. Los inventarios oscilaron entre 61 y 461 taxones de flora y fauna, considerados en sentido amplio; siendo un mínimo de 67% productores primarios. Se esbozan las presiones globales y locales en sus respectivas cuencas, que de alguna manera comprometen en el futuro su estado de conservación dentro de la red Natura2000, y se describen los posibles impactos pasados y actuales que les afectan negativamente.

PALABRAS CLAVE: Lagos de alta montaña; morfometría; batimetría; comunidades biológicas; Montes Aquilanos; NO de España.

ABSTRACT: The study of high mountain wetlands is of great interest in the Iberian Peninsula since they are unique elements inherited from the last glaciation, and they also have very relevant biocenosis in biogeography and conservation due to their isolation, specificity and singularity. In this work, we describe in detail the distribution, morphogenesis and lake typologies present in the Sierra Segundera glacier complex, located mainly at the headwaters of the Tera River (NW of Zamora), upstream of Lake Sanabria. There are 340 aquatic elements catalogued in a drainage network of 258 km over an area of more than 10,600 ha, which drains an annual average of more than 120 hm³ of water. Hydrographic and bathymetric data are included for the 19 largest natural lakes and bogs; located at an altitude of more than 1500 msn. They are inhabited by exceptional biological communities, both micro and macroscopic. Inventories oscillated between 61 and 461 flora and fauna taxa, considered in a wide definition; a minimum of 67% were primary producers. They sketch the global and local pressures in their respective catchments, which in some way compromise their future ecological status within the Natura2000 network, and describe the possible past and current impacts that will negatively affect.

KEY WORDS: High mountain lakes; morphometry; bathymetry; biological communities; Aquilianos Mountains; NW Spain.

1. Introducción y objetivos

El paisaje del norte de Europa se caracteriza por su riqueza original en lagos y humedales creados por la acción glaciaria durante el Pleistoceno; en comparación, la región al sur de las zonas cubiertas por glaciares continentales es actualmente pobre en lagos (Björk, 2010). Algunas zonas montañosas septentrionales ibéricas sufrieron esta influencia glaciaria (Pérez-Alberti & Valcárcel-Díaz, 1998) y, por lo tanto, podemos encontrar los únicos registros de esta geomorfología con formación de lagos y lagunas, a pesar de la alta disponibilidad para la creación de cubetas de sustratos duros e impermeables. Por lo general, son de pequeñas dimensiones y están situados en las cabeceras de las subcuencas de mayor altitud; como es el caso de Sierra Nevada (Castillo, 2009) o Gredos (Granados & Toro, 2000). Aunque la geocronología de las unidades glaciares de Sierra Segundera es incierta (subetapa Weichseliana tardía o Würmiana) se instaló un aparato glaciario de meseta con una extensión de unos 155 km² y una potencia máxima superior a 400 m (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2011b; Cowton *et al.*, 2009). Y que originó en zonas altas el actual complejo lacustre de alta montaña objeto de nuestro estudio; y en su vertiente meridional y a baja altitud el lago de Sanabria, el mayor de España (Pardo, 1948; Vega *et al.*, 2005), a partir de las lenguas glaciares en los valles del río Tera y Segundera.

A pesar de la singularidad de este complejo lacustre formado en una penillanura de altitud son escasos los trabajos pormenorizados realizados, en especial en lo concerniente a las comunidades biológicas. En primer lugar, cabe citar, en un marco estrictamente geográfico, el primer inventario de gran parte de las masas de agua realizadas en 1913 por G. Puig Larraz, J. de Ciria, E. Flórez, R. Stickel, F. Hernández Pacheco y J. Taboada (Taboada, 1913; Stickel, 1929). Constituyen las fuentes del trabajo que compendió Pardo (1948) para su obra “*Catálogo de los lagos de España*”. En anteriores referencias geográficas de Zamora apenas se citan estas lagunas, tan remotas como ignotas, y consideradas como abrevaderos estivales de merinas (Calvo-Madroño, 1914). Como contraste, en Pardo (1948) ya se recogen 16 estudios para el lago de

Sanabria. Él es pionero en aplicar un enfoque de valoración positiva de los humedales, incluyendo aprovechamientos intangibles derivados de la belleza paisajística y el atractivo de la naturaleza (Pardo, 1928). Dada su mayor relevancia en el contexto ecológico y su mayor accesibilidad fue el lago de Sanabria quien concentró los esfuerzos pioneros del estudio limnológico en Sanabria (Casado de Otalola, 2000, pp 23 y ss).

Los trabajos de Margalef (1955a,b) para las comunidades biológicas acuáticas microscópicas y los de Gadea (1954) para los nematodos son los primeros en abordar catálogos de seres vivos de este territorio; con la excepción de las escuetas reseñas recogidas en Pardo (1948) del aprovechamiento vecinal de peces. Por lo tanto, las lagunas y turberas permanecieron en casi completo desconocimiento, por el relativo desinterés (incluido el científico) por estas montañas inhóspitas e inaccesibles, hasta que con la exploración de los recursos hidrológicos para aprovechamiento hidroeléctrico en la década de los 50 del siglo XX se mejora ampliamente su accesibilidad.

Durante la década de los años 80, y como trabajo previo para su inclusión como espacio natural protegido, se inicia una importante etapa con su estudio pluri-disciplinar (Vega *et al.*, 1991). Meta que se consigue en 1990 cuando todo el complejo glaciario es incluido en el Parque Natural del Lago de Sanabria y Alrededores (Decreto 121/90) ampliando notablemente los límites iniciales (Real Decreto 3061/1978); y en 1994 cuando 11 de sus lagunas se incluyen en el Catálogo Regional de Zonas Húmedas de Castilla y León (Decreto 194/94). Posteriormente es ampliado en otras 44 masas de agua (incluyendo turberas y embalses) mediante Decreto 125/2001. Todas tienen figuras administrativas de protección en la red Natura2000 dentro del área ZEC-ES4190105.

Como herencia de largos periodos sin avance en el conocimiento científico cabe resaltar algunas discrepancias, por ejemplo con relación a las profundidades máximas o los topónimos que aparecen en la cartografía. Por ejemplo, Pardo (1948) señala que la laguna de Lacillos tiene hasta 40 m de profundidad, mientras que Vega *et al.* (1991) encuentran una profundidad máxima de 4,8 m. Otros casos de errores previos han sido subsanados ahora mediante ba-

timetrías más completas; son los casos de las lagunas del Cuadro y La Clara para las que se han encontrado profundidades máximas con desviaciones considerables.

Revisando las diferentes ediciones y escalas de mapas topográficos se observan incongruencias tanto en el número y localización de las masas de agua, como en la toponimia y su extensión; por ejemplo, Pardo (1948) denomina lagunas de Peña Resbalada a las turberas de Majadavieja. Éstas no aparecen en las ediciones del mapa IGN 1:50000; pero sí en la escala 1:25000, aunque sin precisión, ya que se incluye dentro de una lámina continua lo que en realidad es una compleja red de minúsculos hábitats palustres y pozas de varios arroyos. En realidad gran parte de esta superficie son praderas turbosas encharcadas temporalmente y no lagunas; tal y como se comprueba en la ortofotografía PNOA (disponible en <http://www.ign.es/iberpix2/visor/>).

En las últimas décadas las lagunas de montaña han sido foco de la investigación de fenómenos climáticos globales como sensores de cambios ecológicos que afectan a la Biosfera (Luque, 2003; Battarbee, 2005; Catalan *et al.*, 2002, 2006, 2013; Toro *et al.*, 2006; Williamson *et al.*, 2009; Psenner & Renberg, 2013; Hernández *et al.*, 2015; Rühland *et al.*, 2015; Jambrina-Enríquez *et al.*, 2017); y también como registro de cambios ecológicos y paisajísticos ocurridos en el pasado, tanto de origen natural como antrópico (Allen *et al.*, 1996; Leira & Santos, 2002; Luque & Julià, 2002; Muñoz-Sobrino *et al.*, 2004). Este conjunto lacustre a pesar de su localización no fue incluido en las redes europeas de seguimiento del impacto de la acidificación (Camarero *et al.*, 1995; Skjelkvåle & Wright, 1998) o la deposición atmosférica (MOLAR Water Chemistry Group, 1999; Battarbee *et al.*, 2002; Mose-llo *et al.*, 2002) perpetuando así su déficit de estudio.

El trabajo pretende abarcar dos tipos de objetivos. Por un lado, ampliar datos disponibles sobre geomorfología, hidrología y limnología del complejo lacustre glaciar de Sierra Segundera, sintetizando la información existente y corrigiendo errores para establecer con precisión tanto la localización de todos los ecosistemas (permanentes y estacionales) con su morfometría y su correcta toponimia. Por otro lado, se analizan las comunidades bióticas (micro y macroscópicas) en relación con las presiones antrópicas más relevantes para su conservación.

2. Área de estudio

El área de estudio considerada se localiza al NO de la provincia de Zamora, en las estribaciones meridionales de los Montes Aquilianos en el llamado macizo de Sierra Segundera y Cabrera. Los ecosistemas acuáticos incluidos en el trabajo se localizan en la vertiente sureste de la Sierra Segundera y pertenecen en su totalidad a la subcuenca del río Tera (cuenca hidrográfica del Duero), aunque el conjunto glaciar incluye algunas otras lagunas en otras cuencas hidrográficas (Figura 1). Todas las lagunas y turberas se localizan en la cabecera del alto Tera, considerando toda la red hidrográfica aguas arriba del lago de Sanabria, por lo que se ha considerado el punto de sección de control (P_{sc}) en la confluencia de los ríos Segundera y Tera (Figura 1).

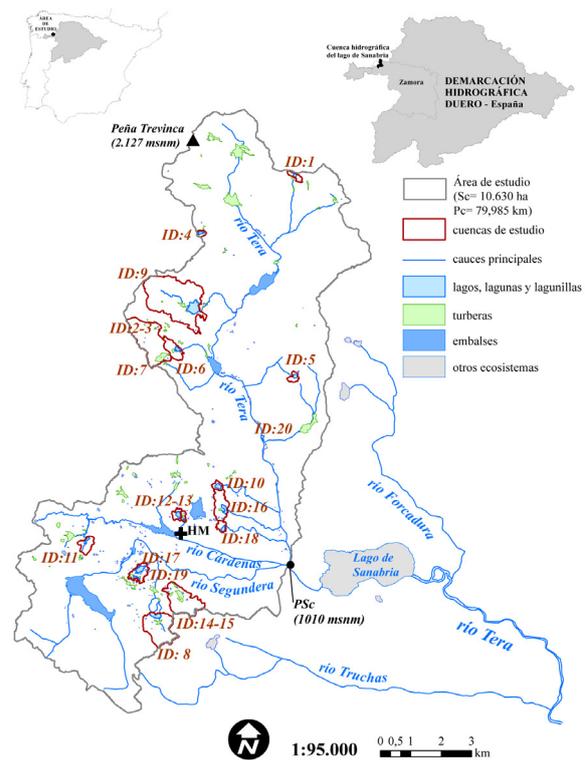


Figura 1. Localización del área de estudio y los sistemas lacustres estudiados (ID en Anexo 1) aguas arriba del lago de Sanabria (NO de Zamora, ZA). Se muestran el complejo lacustre glaciar, el sistema de embalses de la explotación hidroeléctrica de Moncabril, la estación meteorológica (HM), el punto más elevado (▲), el de menor cota (Psc) y los principales ríos.

Figure 1. Location of the study area and the lake complex studied (ID in Annex) in the upper Tera basin, upstream of Lake Sanabria (NW Zamora province, ZA). The glacier lake complex of Segundera Mountains, the system of reservoirs (striped grid) of the Moncabril hydroelectric power station, the meteorological station (HM), the highest (▲) and the lowest point (Psc) and the major rivers.

En el Anexo 1 se presentan las coordenadas geográficas UTM de cada laguna o lago como máximos exponentes del conjunto lacustre, así como las principales composiciones litológicas de sus cuencas, de acuerdo a los mapas geológicos 1:50000 del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y de la cartografía vectorial provista en el Mapa Geológico de España 1/50000 MAGNA50 2ª Serie (www.igme.maps.arcgis.com). Teniendo en cuenta su localización y litología, los ecosistemas estudiados pueden agruparse en 4 tipos: i) lagunas de gran altitud sobre cuarcitas armónicas, ii) ecosistemas de gran altitud sobre gneises de grano fino “*facies ollo de sapo*”, iii) ecosistemas de altitud sobre gneises glandulares “*ollo de sapo*”, iv) ecosistemas de altitud sobre granitos biotíticos “*facies granodioritas de Ribadelago*”. Más detalles en Anexo 1 y 3.

3. Material y métodos

Para delimitar las masas de agua en estudio, calcular las altitudes y sus cuencas hidrográficas y topográficas se

utilizaron mapas MTN25 vectorizados -Base Cartográfica Nacional BCN25- del Instituto Geográfico Nacional (IGN, <http://centrodedescargas.cnig.es>) y ortofotografías aéreas del programa PNOA disponibles en Infraestructura de Datos Espaciales de Castilla y León (IDECyL, www.cartografia.jcyl.es). Como caracterización previa del conjunto lacustre se analizaron los inventarios de Pardo (1948) y Vega *et al.* (1991); así como los datos incluidos en las fichas de catalogación del Catálogo de Zonas Húmedas de Castilla y León.

3.1. Caracterización morfométrica de las masas de agua

Las superficies fueron calculadas sobre perímetros de los humedales redibujados a escala 1:1000 en las ortofotografías, y para conocer en detalle la red hidrográfica se trabajó a escala 1:3000. Posteriormente, por un lado, se realizó una caracterización en campo de cada unidad lacustre con toma de datos georreferenciados (datum ETRS89 elipsoide SGR80) y trabajos de batimetría en las masas de mayor entidad; y, por otro lado, sobre la cartografía vectorial MTN25 y las ortofotografías se estudiaron en gabinete las subcuencas y el conjunto de la red hidrográfica. Se calcularon o estimaron los parámetros habituales en este tipo de estudios (ver Tablas 2 a 4), tanto sobre las cubetas como sus cuencas (Håkanson, 1981; Wetzel, 1983; Castillo-Jurado, 1992).

El perímetro o contorno de las láminas de agua (P_L) se calculó mediante recorridos sobre el terreno en los que se tomaron a intervalos puntos de coordenadas con GPS eTrex Legend® para obtener un polígono inicial, que se rectificó manualmente con mayor detalle sobre ortofotografía. Se generó un modelo digital de elevaciones (MDE, equidistancia 5 m) a partir de las capas BCN25 que permite calcular las pendientes, superando de esta forma la precisión mínima recomendada para este tamaño de cuenca (Martínez de Azagra & Navarro, 1996). Utilizando un sistema de información geográfica QGIS3 ©Free Software Foundation, Inc.

En cada laguna se calculó sobre ortofoto a escala 1:1000 el diámetro mayor de la lámina de agua (DL_L), su dirección geográfica (d_{GEO}) y el diámetro medio (DM_L) definido como el mayor de todos los posibles diámetros perpendiculares al mayor; datos que se contrastaron “in situ” y que se hicieron coincidir con los transectos principales para la batimetría. El punto de corte entre ambas líneas se utilizó como coordenada geográfica (CG_L) UTM de la masa acuática (Anexo 1), con precisión de 10 m.

Las medidas de superficie (S_L) y longitud del perímetro (P_L) a máximo llenado de las lagunas se obtuvieron a partir de la cartografía vectorial y los volúmenes de las cubetas (V_L) mediante levantamiento batimétrico en detalle o por métodos indirectos de integración de sucesivos volúmenes parciales calculados como sectores troncocónicos invertidos y apilados, según se describe en Hutchinson (1957). En las cubetas en las que no se pudo hacer batimetría se estimó un volumen igual al de la superficie de la lámina por la profundidad media (Z_m); siendo ésta estimada a su vez mediante regresión a partir de la relación encontrada entre

la profundidad máxima (Z_{max}), la superficie y el volumen para las lagunas en las que sí se hizo.

En seis lagunas se hizo batimetría mediante transectos rectilíneos con medidas discretas de profundidad cada 5m, utilizando una ecosonda manual. Las líneas de transectos dirigidos por una cuerda guía desde la orilla o una barca auxiliar fueron diseñadas para maximizar la resolución espacial, considerando al menos varios transectos paralelos al diámetro máximo y otros perpendiculares. Discrecionalmente se realizaron transectos en lugares con mayor irregularidad en la pendiente hasta observar con detalle la morfología del fondo de la cubeta para aumentar el detalle. Para conocer con mayor precisión los extremos de los transectos en las zonas más someras o cubiertas de vegetación sumergida se hicieron medidas manuales de la altura de la lámina de agua. En los transectos guiados se georreferenciaron los puntos donde se obtuvieron las profundidades en campo. Las medidas de profundidad se rectificaron con el nivel de fluctuación; medida verticalmente entre la lámina de agua (F_L) y el punto de contacto de la vegetación terrestre con la cubeta a máximo llenado.

Además se calcularon en gabinete otros parámetros morfométricos de las lagunas y turberas: anchura media (W), alargamiento (AL), desarrollo del perímetro o índice de forma (D_p), profundidad media (Z_m), forma de la cubeta (D_c) y desarrollo del volumen (D_v). A partir de los datos batimétricos se construyeron curvas hipsográficas y de volumen en relación con la profundidad para conocer el factor de forma volumétrico de Håkanson (1981). Ver detalles en Anexo 2.

3.2. Caracterización de las cuencas

Las superficies (S_C) y perímetros (P_C) de las cuencas se calcularon sobre el terreno con GPS para obtener un polígono georreferenciado, que posteriormente se corrigió sobre ortofotografía. En algunos casos las complejas redes hidrográficas (arroyos, zonas encharcables u otras masas de agua asociadas con alto grado de conectividad, jerarquización y dependencia) se definieron al detalle mediante recorridos georreferenciados, y analizando la topografía y los flujos de escorrentía. Para caracterizar las subcuencas hidrográficas de cada sistema se identificó el punto de cota máxima (H_M) y mínima (H_m) a partir del modelo MDE (Figura 2).

Sobre este MDE se calcularon la altitud media de la cuenca (H_C), la compacidad de Gravelius (K_G), la curva hipsométrica (representación gráfica de la superficie acumulada frente a la cota, es decir la superficie que existe por encima de la cota de la lámina de agua), las altitudes media (H_C) y más frecuente (H_f) en la cuenca, la curva de frecuencias (histogramas de porcentaje de superficie frente a la cota), el realce de relieve (R_R) y la densidad de drenaje (D_D). Ver más detalles en Anexo 2.

Finalmente la pendiente media y máxima ($I\%$, I_M) a partir del MDE (Figura 2 y Material Complementario 1) según la técnica de rectángulos equivalentes entre puntos de la misma curva de nivel descrita en Martínez de Azagra & Navarro (1996), calculando la media geométrica de los 9 rangos de valores (en grados) para cada subcuenca. Y

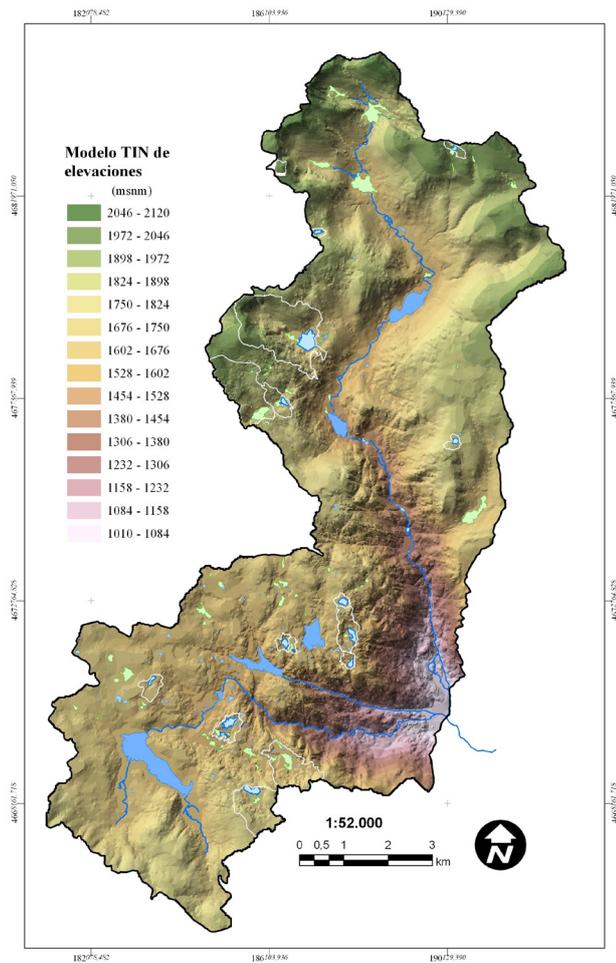


Figura 2. Modelo digital de elevaciones (MDE, equidistancia 5 m) de la cuenca del alto Tera a partir de datos de elevación del terreno (curvas de nivel) en formato vectorial del Instituto Geográfico Nacional, utilizando redes irregulares de triángulos (TIN) con efecto de iluminación (azimut 315°) de las pendientes en 2D. (coordenadas ETRS89-UTM-30N). Se muestra la red hidrográfica principal del complejo lacustre y todas las masas de agua inventariadas. Mas detalles topográficos en Material Complementario 1.

Figure 2. Digital elevation model (MDE, rango 1010-2120 msnm, 15 clases) of the Upper Tera Basin from terrain elevation data in vectorial format (curves of level) of Spanish National Geographic Institute, using triangular irregular networks (TIN), with hillshade illumination (azimuth 315°) effect on the 2D display. (ETRS89-UTM-30N coordinates). It shows the complete hydrographic network and all the water bodies inventoried. More topographic details in Supplementary Material 1.

además se estableció la conectividad entre los elementos de cada complejo (Tabla 2).

3.3. Caracterización de otros parámetros

Se calculó también el tiempo de residencia (T) del agua en las lagunas con batimetría como el cociente entre

el volumen de la cubeta y volumen de entrada de agua (V_e) en el sistema en un periodo de tiempo: $T(\text{año}) = V_L (\text{m}^3) / V_e (\text{m}^3 \text{año}^{-1})$ y la tasa de renovación $R (\text{año}^{-1})$ como valor inverso al tiempo de residencia. El parámetro V_e debe ser estimado a partir de la cantidad de agua (p) que cae directamente sobre la lámina de agua ($V_d = p (\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{año}^{-1}) * S_L (\text{m}^2)$); y además el volumen que fluye hacia la cubeta (V_c). El valor de V_c se ha estimado a partir del superávit anual (S) obtenido en un balance hídrico calculado para la Sierra Segundera, y, por lo tanto, $V_c = S (\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{año}) * S_c (\text{m}^2)$; y el superávit anual con la reserva en 100 mm de precipitación como capacidad máxima de almacenamiento en el suelo (Garmendia, 1968; Negro, 2005) utilizando los valores de evapotranspiración real y potencial de la estación climática del embalse de Cárdenas (HM: 1600 msnm, Figura 1). Los valores fueron corregidos para la serie climática 1961-2006 (Negro, 2005), con superávit anual de precipitaciones 1177,5 mm en lugar de 1.022 mm indicados en Garmendia (1968). Se tomó como referencia promedio de 1.541 mm $\text{m}^{-2} \text{año}^{-1}$, aunque se han registrado en HM desde 899 (en 2005) hasta 2144 mm $\text{m}^{-2} \text{año}^{-1}$ (en 1978).

Para los volúmenes de agua embalsada se han utilizado los valores disponibles en el Inventario Nacional de Presas y Embalses (<https://sig.mapama.es/snczi/>), que representa el máximo capaz de almacenar el sistema, lo que no es una situación habitual. En el caso de Puente Porto se considera además que tras las reformas en la presa de 2008-09 su capacidad útil es de 9,5 hm³.

3.4. Características limnológicas

Las medidas de parámetros físico-químicos de campo se realizaron con multisonda WTW en las orillas y la analítica para los demás parámetros (Tabla 5) en agua transportada en oscuridad y frío hasta el laboratorio. La clorofila "a" (CLOa) contenida en 1 litro de agua se extrajo con 10 ml de acetona 90% de los filtros Whatman GF/F, se midió mediante espectrofotometría y se calculó por el método SCOR-UNESCO (1966); y la clorofila total (CLOtot) mediante la fórmula de Ros (1979). El color del agua filtrada y el contenido de taninos se calcularon a través de lectura a 380 y 440 nm (Tabla 5). Más detalles metodológicos se describen en Negro (2000, 2005). Para localizar la posible presencia de hipolimnion en las cubetas profundas se realizaron al final de verano perfiles de temperatura y oxígeno (medidas cada m de profundidad) en el punto Z_{max} .

3.5. Comunidades bióticas

Los inventarios de especies se corresponden con muestreos plurianuales, sin periodicidad, realizados en todas las épocas climáticas del año; y los taxones fueron determinados hasta nivel específico. Para los organismos del plancton se realizaron capturas manuales con redes (20 y 55 μm de poro, respectivamente para fito

y zooplancton) desde las orillas; así como se recogieron organismos epibióticos sobre la vegetación palustre y sumergida, y también en las turberas en los hábitats hidroturbosos y en macollas de esfagnos (dominadas por musgos del género *Sphagnum*). Para los organismos semiacuáticos, sobre todo vertebrados, se realizaron recorridos y pequeñas parcelas de muestreo con captura temporal mediante mangas sacaderas.

Los organismos se determinaron “in vivo” al microscopio óptico cuando fue posible, y en su defecto sobre muestras fijadas. El fitoplancton se fijó con lugol y el zooplancton y zoobentos con etanol 70°. Para la determinación microscópica se utilizó un microscopio invertido Nikon Diaphot (magnificación hasta 1000 aumentos), y en su caso lupa binocular (objetivos 2x a 10x); que también se utilizó para los microinvertebrados fijados en etanol 70°. Los recuentos de fitoplancton se hicieron con la técnica Utermöhl (1958) en columnas de sedimentación de 50 y 20 ml, haciendo barridos a diferentes aumentos. Más detalles metodológicos se describen en Negro (2005). Todos los vertebrados y macroinvertebrados, adultos o fases larvares, fueron determinados “in situ” sin sacrificio de ejemplares; y con ayuda de macrofotografías realizadas en acuarios de campo.

4. Resultados y discusión

El sistema estudiado está formado por un amplio entramado de cauces permanentes y temporales, lagunas, lagunillas, turberas y una innumerable cantidad de cubetas

más pequeñas de carácter efímero. Predominan las masas de agua de muy pequeño tamaño (< 1 ha) de las que se han inventariado 324 unidades (el 93,9%) que suponen el 40% de la superficie ocupada por los humedales, tanto naturales como embalses. Excluyendo el lago de Sanabria, que supone el 87% del volumen de agua contenido en el sistema del Alto Tera, el complejo glaciar de lagunas, lagunillas y turberas almacena en torno a 1/5 del agua de la Sierra Segundera; y el resto es almacenado mayoritariamente en los cinco embalses del complejo de producción hidroeléctrica de Moncabril (HM), aunque con gran variabilidad estacional e interanual, ya que están sometidos a intensa explotación. El complejo lacustre y los embalses suman 358 ha (Tabla 1), superficie similar a la que tiene el lago de Sanabria (Vega *et al.*, 2005).

4.1. Caracterización de las cuencas hidrológicas.

En conjunto la red hidrográfica del alto Tera supera 258 km de longitud y drena una superficie superior a 10.600 ha (Anexo 1, Figura 1), por la que discurren un promedio anual de 120 hm³ (datos de ENDESA Generación). Los 15 complejos lacustres (Tabla 2) se distribuyen en un estrecho rango altitudinal, entre 2022 (Patos, LPT) y 1010 msnm (Psc, Figura 1) en el punto de confluencia de los ríos Tera y Segundera. Las masas acuáticas leníticas son de origen epigénico y están interconectadas mediante una red hidrográfica (Tabla 1) formada por 3 cursos principales de aguas permanentes (55 km), y otros 180 arro-

Tabla 1. Datos hidrográficos extraídos de la cartografía vectorial digital de Mirame-IDuero (Confederación Hidrográfica Duero, www.mirame.chduero.es/) y mejorados en detalle, a escalas 1:1000 (ecosistemas leníticos) y 1:3000 (cauces), en el SIG elaborado para este trabajo.

Table 1. Hydrographic data extracted from the digital vectorial cartography of Mirame-IDuero (Duero Hydrographic Authority, www.mirame.chduero.es/) and improved in detail, at 1:1000 (lenitic ecosystems) and 1:3000 (channels) scales, in the GIS developed for this study.

Medio acuático	N	Longitud (km)	%L	Medio acuático	Grupo masa acuática	N	Superficie (ha)	Volumen (m ³)	%S	%V
Ríos permanentes	3	54.6	21.1	Charcas efímeras	A	158	18.8	-	5.1	-
Arroyos temporales	180	203.8	78.9	Lagunillas someras	B	90	9.94	-	2.8	-
	183	258.4		Turberas de cubeta somera	C	76	115.66	-	32.2	-
				Turberas profundas con laguna	D	4	4.83	58.450	1.3	0.4
				Lagunas someras (Z < 4 m)	E	4	5.15	49.260	1.4	0.3
				Lagunas profundas (Z > 4 m)	F	6	26.462	1160.153	7.4	7.7
				Lagos (Z > 15 m)	G	2	6.39	408.697	1.8	2.7
				Embalses	H	5	172.15	13430.000	48.0	88.9
						345	358.77	15106.56		

Tabla 2. Características morfométricas, altimétricas y de red hidrográfica más importantes de las subcuencas estudiadas, la residencia del agua en las lagunas y el balance de caudales que dispone el sistema a partir de la precipitación de la estación climática HM (serie 1961-2006). Abreviaturas como en Anexo 1. (En los sistemas S2, S10, S11 y S14 se incluyen varios ecosistemas, que comparten altitudes y pendientes por ser un único sistema hidrográfico; o: oblonga, r: redonda, v: ovalada;* los valores calculados para este punto son teóricos, puesto que el caudal está gravemente alterado por la explotación hidroeléctrica, pero no está cuantificado; conectividad: EN: endorreica, En: endorreica parcialmente, EX: exorreica).

Table 2. Morphometric, altimetric and hydrographic network characteristics of the most important sub-basins studied, the residence of the water in the lakes and the balance of flows available in the system from the precipitation of the HM climatological station (series 1961-2006). Abbreviations as in Annex 1. (Systems S2, S10, S11 and S14 include several ecosystems, which share altitudes and slopes as a single hydrographic system; o: oblong, r: round, v: oval;* the values calculated for this point are theoretical, since the flow rate is severely altered by hydroelectric exploitation, but not quantified; connectivity: EN: endorheic, En: partially endorheic, EX: exorheic).

Masas acuáticas	Sub-cuenca	Superficie (ha)	Perímetro (km)	Conectividad	Compacidad	Altitud (msnm)				Pendiente (°)		Relieve		Residencia (día)	Renovación (año ⁻¹)	Precipitación (mm x10 ⁹)		
						H _C	H _M	H _m	H _r	I%	I _M	R _R	D _D			T	R	V _e
Abrev.	S _C	P _C	K _G	H _C	H _M	H _m	H _r	I%	I _M	R _R	D _D	T	R	V _e	V _d	V _c		
LPt	S1	8.2	1.5	EN	1.5 - v	2012	2022	2000	2008	5.4	21.7	0.26	1.04	15.8	23.1	0.1	0.01	0.08
LPi	S2	5.1	0.9	EN	1.1 - r	1882	1892	1870	1878	7.5	27.3	0.62	0.68	33.3	11.0	0.1	0.02	0.04
LPJ/LPj/TH	S3	121.9	5.8	EN/En	1.5 - v	1908	2020	1798	1800	9.7	45.1	10.03	6.00	0.04	9964.4	1.4	0.00	1.43
LV	S4	8.4	1.3	EX	1.3 - v	1835	1850	1821	1829	7.6	32.1	0.53	0.66	26.4	13.8	0.1	0.02	0.08
TAc	S5	27.4	2.6	EN	1.4 - r	1855	1909	1800	1810	4.4	21.9	1.98	0.20	46.4	7.9	0.3	0.06	0.28
LL	S6	235.8	8.8	EN	1.6 - v	1866	2040	1693	1710	9.7	54.4	0.04	4.07	76.4	4.8	2.8	0.19	2.63
LPe	S7	86.6	4.7	EN	1.4 - o	1855	1906	1800	1810	16.0	74.0	0.05	2.36	86.8	4.2	1.0	0.07	0.97
LCu	S8	7.8	1.3	EN	1.2 - v	1685	1690	1680	1690	1.9	9.74	0.67	0.19	229.7	1.6	0.1	0.04	0.06
LCa	S9	19.7	2.1	EN	1.3 - v	1672	1690	1655	1679	4.8	21.7	0.08	2.24	46.3	7.9	0.2	0.02	0.21
LR/TR	S10	14.7	1.9	EN/En	1.4 - v	1636	1650	1620	1630	9.8	45.3	0.81	0.25	193.07	1.9	0.2	0.04	0.14
TMV/ TMv	S11	82.7	5.2	En	1.6 - o	1680	1739	1620	1630	9.8	48.8	0.03	4.89	0.8	475.4	1.0	0.01	0.97
LM	S12	38.7	3.1	EN	1.4 - v	1655	1700	1610	1610	11.8	56.9	0.19	1.24	94.9	3.8	0.5	0.05	0.42
LPa	S13	9.4	1.5	EN	1.4 - v	1613	1633	1594	1599	10.1	46.2	0.70	0.58	142.0	2.6	0.1	0.03	0.09
LC/TC	S14	26.3	3.1	EN	1.7 - o	1610	1620	1600	1610	8.2	44.7	0.01	5.18	401.2	0.9	0.3	0.10	0.23
PCu *	S15	4868.5	39.7	EX	1.6 - o	1789	2120	1346	1449	15.9	82.7	0.01	2.57	0.4	1024.3	57.3	0.01	57.29

yos temporales (204 km). En la mayoría de su extensión los cauces permanentes presentan caudales de régimen muy alterado por la explotación hidroeléctrica, e invertido en el verano. Excepto PCu, todos los demás sistemas se pueden considerar de conectividad endorreica, al menos funcionalmente (Tabla 2), ya que presentan largos periodos en los que las masas acuáticas pierden el flujo de agua a través de sus arroyos hacia la red.

Las 15 subcuencas son pequeñas o muy pequeñas ya que presentan valores $S_C < 25 \text{ km}^2$ y con morfologías oblongas y ovaladas (valores $K_G > 1,25$, excepto LPi) y una orografía sin importantes escarpes o relieves que conforma pendientes promedio no superiores al 12%, excepto para las dos de mayor entidad: LL y PCu (Tabla 2, Figura 2 y Material Complementario 1). Debido a esta compacidad el agua circula por numerosos y pequeños cauces, y el tiempo de permanencia del agua es elevado, lo que da lugar a la formación de gran cantidad de zonas empradizas, turberas y charcas de menor entidad; en especial en las cuencas de conducción (p.e. PCu). Excepto en Aguas Cernidas (S5) los valores de realce de relieve resultaron

$R_R < 1$, lo que indica que las cuencas tienen textura gruesa y que los suelos presentan elevada permeabilidad. La densidad de drenaje fue $D_D < 2 \text{ km km}^{-2}$ para todas las subcuencas de origen y otras localizadas en elevaciones del terreno con pequeñas depresiones, típicas de penillanura glaciar. En las subcuencas con fuertes pendientes resultó $D_D > 4,0$, y próximos a $D_D: 2,5 \text{ km km}^{-2}$ para las de conducción; incluida PCu que supone el punto de sección de control para la cabecera del Tera.

A partir de la precipitación en HM y de la estima de que el 76% supone superávit para el sistema (Negro 2005) y está disponible para la escorrentía superficial se han calculado tiempos de residencia (Tabla 2). Con valores $T < 1 \text{ d}$ para 3 subcuencas: S3 y S11 debido a su elevada escorrentía y localización de las cubetas en los arroyos, y para S15 en función de su localización en el eje principal del Tera. En el extremo contrario encontramos tiempos muy elevados ($T > 180 \text{ d}$) en S8, S10; e incluso $T > 400 \text{ d}$ en la Clara (S14).

Las curvas hipsométricas indican perfiles propios de cabecera de cuenca (Figura 3A), con mayores pendientes

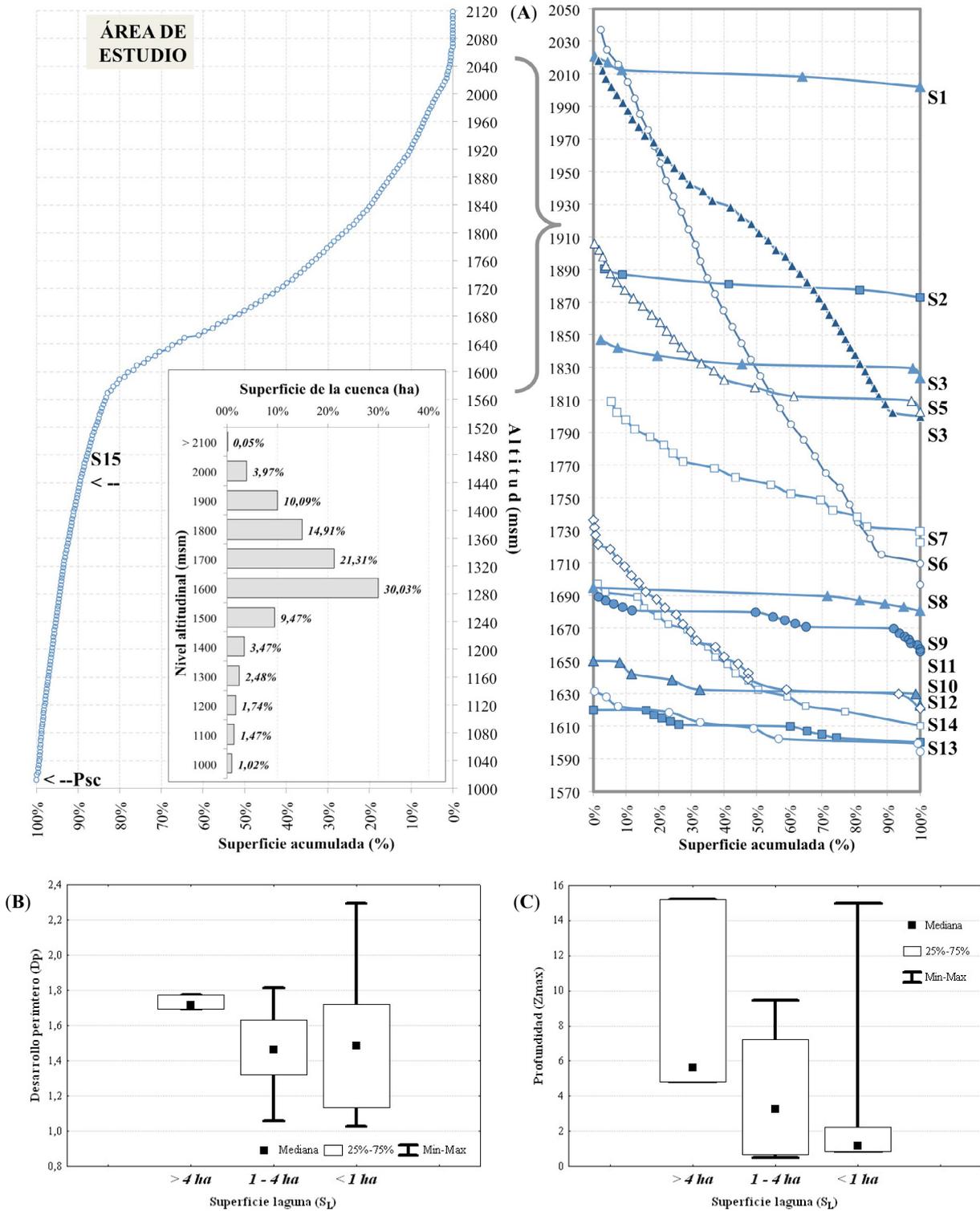


Figura 3. (A) Curvas hipsométricas de las subcuencas estudiadas y reparto de las superficies ocupadas en cada nivel altitudinal correspondiente a 100 m de desnivel para el conjunto del área de estudio. (B-C) Distribución de las clases de tamaños de lagunas en relación con el desarrollo del perímetro y la profundidad.

Figure 3. (A) Hypsometric curves of the sub-basins studied and distribution of the occupied surfaces in each altitudinal area ("100 m of difference in level") for the entire study area. (B-C) Distribution of gap size classes in relation to perimeter development and depth.

tes en relación altimétrica. Tendencia más marcada en las subcuencas del macizo de Moncalvo y en el propio cañón del Tera, aguas debajo de PCu.

4.2. Caracterización morfológica y morfogénesis de las lagunas.

El catálogo realizado en el presente estudio incluye 340 masas de agua naturales o seminaturales, y 6 embalses hidroeléctricos; 19 de los 20 ecosistemas mayores y estudiados están ubicados a una altitud superior a 1.500 msnm, límite basal que Pascual *et al.* (2000) consideran para las condiciones altimontanas. Un total de 248 se corresponden con pequeñas lagunillas someras y charcas efímeras que ocupan 28 ha de superficie. Sólo dos masas se corresponden con tipologías de lago al alcanzar más de 15 m de profundidad; y otras 6 poseen más de 4 m. Estas 8 cubetas profundas suponen un volumen de agua superior a 1.56 hm³.

Estos ecosistemas acuáticos tienen pequeño tamaño (mediana S_L: 1.34 ha y P_L: 658 m, Tabla 3, Figura 3B-C) al compararlos con los de otros sistemas montañosos ibéricos, tal y como encuentran Fuentes-Pérez *et al.* (2015) para otros territorios del N y NO de España. En gran medida se ajusta al patrón del resto de montañas ibéricas que presentan lagunas por lo general menores de 0.5 ha; excepto en Pirineos, según se recoge en el Inventario de Lagos y Humedales de España (ILHE) (Pascual *et al.*, 2000). Predominan las cubetas lacustres de morfología redonda, oblonga y ovalada creadas sobre gneises glandulares con su eje mayor en dirección predominante d_{GEO}: NO-SE y secundariamente d_{GEO}: O-E por sobreexcavación de fondo del aparato glaciar (Rodríguez-Rodríguez, 2011a), a veces sobre materiales diaclasados; aunque existen otras combinaciones (Tabla 3, Anexo 1). La morfogénesis más habitual es la sobreexcavación de fondo en valle en forma de artesa (Anexo 1, 3), a veces con cerramientos morrénicos, que presentan valores de D_p y D_v elevados; y únicamente Lacillo (LL) se puede considerar como de tipo

Tabla 3. Localización, tipología (*L*:laguna profunda, *l*:lagunilla somera, *T*:turbera profunda, *t*:turbera somera, *P*:poza profunda) y características morfométricas más importantes de las 20 masas acuáticas estudiadas. Abreviaturas como en Anexo 1. (*Las medidas lineales se expresan en m, superficies en ha y volúmenes en m³; D y D_v son adimensionales; a:alargada, ar:arriñonada, o:oblonga, v:ovalada, f:fusiforme, p:palmeada, r:redonda; # datos bibliográficos*).

Table 3. Location, typology (*L*: deep lake, *l*:shallow lake, *T*:deep wetland, *t*:shallow peatland, *P*:deep pool) and most important morphometric characteristics of the 20 water bodies studied. Abbreviations as in Annex 1. (*Linear measurements are expressed in m, surfaces in ha and volumes in m³; D and DV are dimensionless; a: elongated, ar: shaped kidney, o: oblong, v: oval, f: fusiform, p: palmed, r: round; # bibliographic data*).

ID	Tipología	Altitud (A _L)	Superficie (S _L)	Perímetro (P _L)	Diámetro máximo (DL _L)	Dirección del eje mayor (d _{GEO})	Diámetro medio (DM _L)	Ancho medio (W)	Alargamiento de cubeta (AL)	Desarrollo perímetro y forma (D)	Profundidad máxima (Z _{max})	Profundidad media (Z _m)	Forma cubeta (D _ℓ)	Volumen cubeta (V _L)	Desarrollo volumen (D _v)
1	l	2002	0.96	440	125.83	N-S	120.90	76.29	1.65	1.26 - r	0.85	0.45	0.53	4320	1.15
2	l	1928	0.03	78	26.0	NE-SO	25.0	12.31	2.11	1.03 - r	0.85	0.55	0.65	176	1.40
3	l	1925	0.03	92	36.0	NE-SO	11.20	7.78	4.63	1.48 - o	0.60	0.40	0.67	112	0.72
4	l	1890	1.32	690	212.0	O-E	119.0	62.26	3.40	1.63 - p	1.15	0.45	0.39	5940	1.55
5	l	1828	1.36	440	139.40	NO-SE	130.88	97.56	1.43	1.06 - r	0.78	0.55	0.71	7480	1.29
6	T	1807	3.72	1.050	299.0	NO-SE	217.0	124.41	2.40	1.54 - o	2.25	1.15	0.51	42780	7.76
7	t	1798	0.03	72	31.82	O-E	16.50	10.06	3.16	1.14 - o	0.50	0.45	0.90	144	0.68
8	L	1726	4.62	1.350	381.78	O-E	165.49	121.01	3.15	1.77 - ar	5.60 #	5.33	0.95	246376	89.59
9	L	1702	12.29	2.110	488.52	NO-SE	455.70	251.58	1.94	1.70 - v	4.80 #	12.70	2.65	1561284	182.93
10	l	1682	2.49	710	214.96	O-E	153.15	115.89	1.85	1.27 - r	9.44	2.56	0.27	63834	72.60
11	L	1675	1.51	720	239.00	SO-NE	112.80	63.18	3.78	1.63 - o	2.00	2.34	1.17	35396	14.06
12	t	1625	2.18	720	240.00	NO-SE	149.57	90.83	2.64	1.37 - o	7.45	4.27	0.57	93043	95.39
13	L	1623	0.19	260	97.00	NO-SE	52.00	19.59	4.95	1.68 - f	1.80	1.49	0.83	2837	8.06
14	t	1628	0.25	200	65.8	N-S	26.8	37.99	1.73	1.12 - o	1.15	0.55	0.48	1375	1.90
15	T	1607	3.12	1.140	328.30	NO-SE	137.55	95.04	3.45	1.81 - ar	7.00 #	3.89	0.56	121409	81.72
16	t	1616	0.15	320	61.90	NO-SE	40.1	24.23	2.55	2.29 - a	0.85	0.45	0.53	675	1.15
17	L	1605	5.49	1.420	420.58	SO-NE	177.27	130.53	3.22	1.71 - p	15.20	6.43	0.42	352752	293.0
18	L	1595	1.76	650	240.04	SO-NE	127.17	73.40	3.27	1.38 - o	6.50 #	2.59	0.40	45570	50.43
19	L	1595	0.92	710	227.73	O-E	33.60	40.40	5.64	2.09 - a	4.50	1.39	0.31	12833	18.83
20	P	1345	0.90	580	134.7	N-S	105.6	67.04	2.01	1.72 - o	15.0	6.20	0.41	55945	278.8

Tabla 4. Algunas características morfométricas de seis ecosistemas en los que se hizo batimetría en detalle, la oscilación vertical de la lámina (h) y la banda árida (F_L); así como el factor de forma (F^V de Håkanson, 1981) para el sistema de clasificación de los lagos. Abreviaturas como Tablas 2, 3 y Anexo 1. (Las medidas lineales se expresan en m, superficies en ha y volúmenes en m^3)

Table 4. Some morphometric characteristics of six ecosystems in which bathymetry was done in detail, the vertical oscillation of the surface (h) and the arid band (F_L); as well as the form factor (Håkanson F^V , 1981) for the lake classification system. Abbreviations such as Tables 2, 3 and Annex 1. (Linear measurements are expressed in m, areas in ha and volumes in m^3)

ID	S_L	P_L	DL_L	W	h	F_L (%)	Z_{max}	Z_m	S_C	V_L	S_C/S_L	S_C/V_L	Factor F^V
13	0.19	260	97.0	19.6	1.05	10.4	1.8	1.5	14.7	2837	77.2	51.7	1.25 ; linear L
19	0.92	709	227.7	40.4	0.59	10.5	4.5	1.4	26.3	12833	28.6	20.5	0.84 ; algo convexa SCx
12	2.18	716	240.0	90.8	0.50	2.4	7.5	4.3	9.4	93043	4.3	1.0	1.45 ; cóncava C
10	2.49	712	214.8	115.9	0.85	10.4	9.4	2.6	7.8	63834	3.2	1.2	0.84 ; algo convexa SCx
17	5.49	1424	420.6	130.5	0.49	0.4	15.2	6.4	11.5	352752	2.1	0.3	1.43 ; cóncava C
20	0.90	580	134.7	67.0	0.35	1.9	15.0	6.2	4868.5	55945	5391.5	870.2	1,24 ; linear L

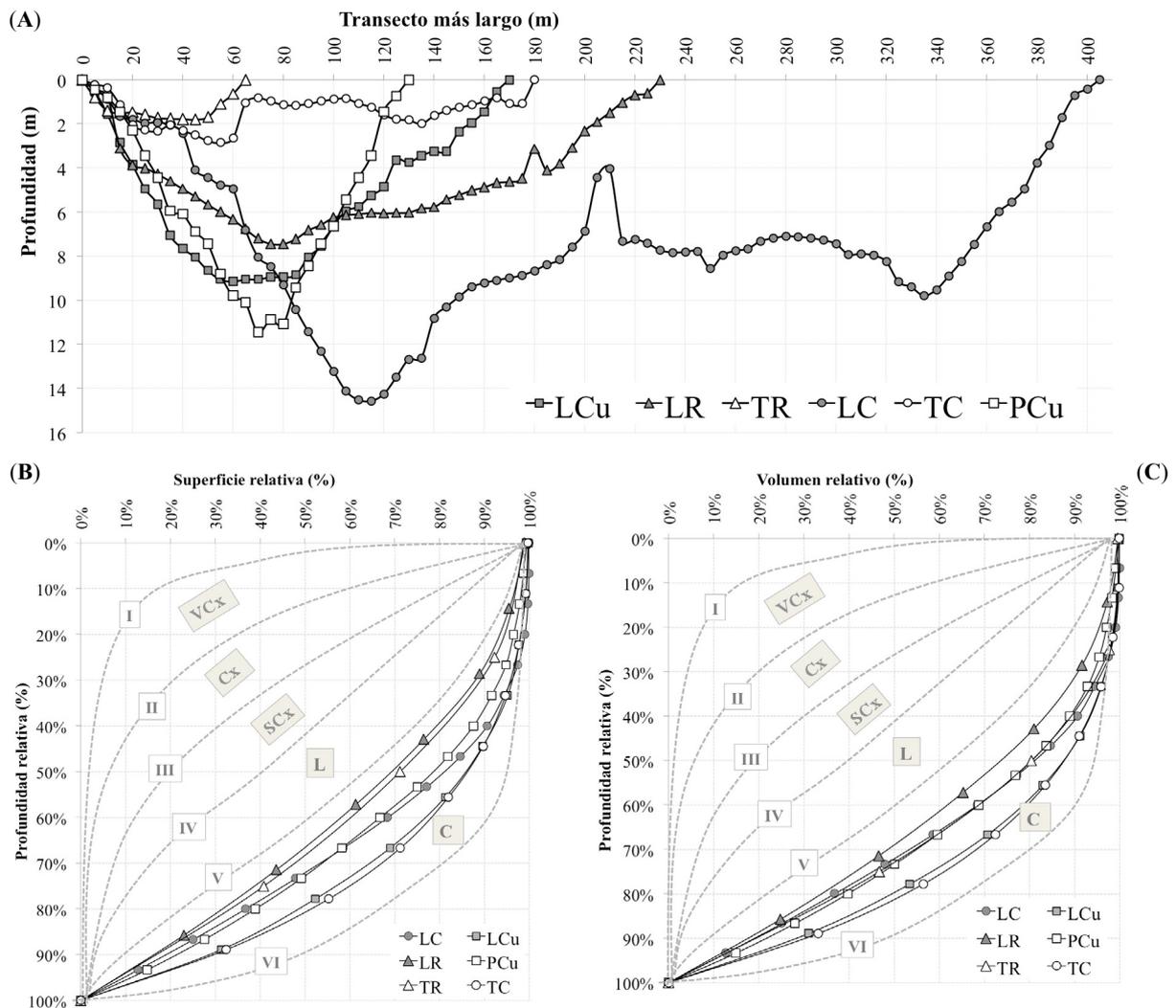


Figura 4. (A) Perfiles batimétricos para los transectos más largos. (B-C) Curvas hipsométricas y volumétricas relativas, para las lagunas y turberas de la Tabla 4, en relación con el factor de forma (V^2) para los grupos de lagos que describe Håkanson (1981).
 Figure 4. (A) Bathymetric profiles of the longest transects. (B-C) Relative hypsometric and volumetric curves, for the lakes and wetlands included in Table 4, in relation to the shape factor (V^2) for the groups of lakes described by Håkanson (1981).

circo glaciar con sobreexcavación, a pesar de ser el más habitual en macizos de rocas cristalinas (Pascual *et al.*, 2000). Éstas además tienen formas subcirculares y pendientes más pronunciadas en las subcuencas (Tabla 3).

Predominan lagunas someras con $Z_{\max} < 4$ m (medias Z_{\max} : 2.12 m, y Z_m : 0.71 m), y sólo cinco presentan $Z_{\max} > 7$ m (Tablas 2 y 4). En algunos casos las cubetas están en avanzado estado de colmatación, que es aprovechado por el cinturón de vegetación litoral para formar hábitats palustres; y en otros se forman turberas oligotróficas acidófilas sin discontinuidad con los prados higrofilos (ej. Maiserón, Geijo, Majada Abuelo; ver Material Complementario 1).

No se encontró relación entre profundidad máxima y el tamaño de laguna [$Z_{\max} = -1.3 \ln(S_L) + 16.11$; R^2 : 0.26], aunque sí se encuentra relación alométrica del tamaño con el perímetro y el volumen de la cubeta [$P_L = 3.71 (S_L)^{0.539}$; R^2 : 0.95; y $V_L = 0.35 (S_L)^{1.41}$; R^2 : 0.92]. Asimismo en lagunas en las que se hizo batimetría la relación entre la superficie y el volumen con la profundidad media fue significativa [$Z_m = (-0.975 S_L) - 1.029$; R^2 : 0.87; y $Z_m = (-0.005 V_L) - 1.750$; R^2 : 0.89].

El estudio batimétrico se desarrolló en lagunas profundas de las subcuencas S10 y S14, y en otras dos con $Z_{\max} > 9$ m (Tabla 4). En las Figuras 5, 7 y 8 se presentan los mapas batimétricos de estas lagunas, así como de la red hidrología superficial de las respectivas subcuencas. La laguna de mayor tamaño resultó ser LC y la única con $DL_L > 400$ m y $Z_{\max} > 15$ m, mientras que el tamaño más habitual del transecto más largo no superó 200 m (Figura 4A; Tabla 4). Las cubetas presentan factor de forma de tipo linear, cóncavo o ligeramente convexo (Tabla 4) de los grupos V (concavidad 0.5 – 1.5) y VI (concavidad 1.5-1.3) de Håkanson (1981). Sus curvas hipsográficas y volumétricas relativas (Figuras 4B-C) indican paredes inclinadas y con un amplio fondo plano.

4.3. Estudio hidrológico y limnológico.

Existe un gran predominio de sistemas con caudales de tipo endorreico o cuasi-endorreico, dado que las lagunas profundas se sitúan en las cabeceras de subcuenca; y por lo general, son pequeñas (mediana S_C : 23.02 ha) y no poseen grandes arroyos. Con la única excepción de PCu (S_C : 4868 ha) que se localiza en el cauce del río Tera.

Todas las masas sufren intensos estiajes a partir de junio y hasta mediados de octubre, con bandas áridas de oscilación de la lámina de agua (F_L) de hasta 0.85 m. El patrón habitual es la desconexión de todas ellas del resto de la red hidrológica varios meses al año (Tabla 6), aunque sigue existiendo un mínimo flujo de agua subsuperficial que alimenta de forma muy ligera la escorrentía de la cuenca. Esto condiciona en gran medida el desarrollo y composición de las comunidades biológicas acuáticas; así como la interacción de las acuáticas litorales con las terrestres en la zona de inundación periódica.

El primer metro (banda azul de los mapas batimétricos, Figuras 5, 7 y 8), supone F_L entre el 0.4% (en LC) a llena-

do máximo, hasta 10.4 y 16.5% en LCu y TC, respectivamente (Tabla 4). Valores F_L inferiores a 3 m se consideran compatibles con unas condiciones hidromorfológicas poco alteradas, según lo descrito en ACA (2006) para los complejos lacustres de los Pirineos alterados por la actividad hidroeléctrica. El índice S_C/V_L resultó elevado, sobre todo para aquellas lagunas con F_V linear por encontrarse en valles amplios con forma de U o artesa; y para algunas similares a lo encontrado en otros sistemas de la cuenca del Duero (Fuentes-Pérez *et al.*, 2015), indicando que presentan el mismo grado de fragilidad ante la intervención antrópica. Para LC, LR y LCu este índice resultó muy bajo (0.3, 1.0 y 1.3, respectivamente) y similar a otras como Estany Redó (de 0.32; en Catalan, 1987) y que describe su estabilidad en este aspecto dada su mínima cuenca vertiente.

En el caso de La Roya (S10) se trata de un sistema fluente desde la laguna (LR) a la turbera (TR) casi cerrado por la topografía escarpada, mientras que en La Clara (S14) la cuenca de la laguna (LC) es el doble de la superficie de lámina de agua, y los aportes en la turbera se reciben de una mayor superficie menos escarpada. Los valores S_C/S_L muy bajos para las lagunas de ambas subcuencas (4.3 para LR y 2.1 para LC) muestran una gran dominancia de factores atmosféricos sobre condiciones limnológicas, en relación con los de lixiviación de la cuenca.

Todos los ecosistemas estudiados (no se hizo seguimiento del grupo A, ver Anexo 1) presentan aguas ácidas, relativamente frías, muy poco mineralizadas y oligotróficas (Tabla 5, más detalles en Negro 2005). En especial el grupo E presentó aguas ácidas con promedios plurianuales inferiores a pH: 6. El resto están incluidos en un intervalo de ligera acidez (6 - 7); con valores entre 3.7 (TC en febrero) y 8.1 (LV en julio). Siendo LPt el ecosistema de aguas más ácidas con valores estivales en el intervalo pH: 4.5 – 4.7.

La mineralización del agua es muy débil y especialmente en el grupo G (Tabla 5) con valores promedio de conductividad de $7.5 \mu\text{S cm}^{-1}$, siendo siempre inferiores a $15 \mu\text{S cm}^{-1}$. Los extremos del intervalo de conductividad son $4.6 \mu\text{S cm}^{-1}$ (LPj en mayo) y $28 \mu\text{S cm}^{-1}$ (LH en septiembre). Estas condiciones de aguas ácidas y de baja conductividad son propias del macizo de Sierra Segundera, en función de su litología ácida e insoluble, así como de la abundancia de los hábitats turbosos con esfagnos (Anexo 3); lo que condiciona una diversidad biológica altamente adaptada a estas condiciones. Asimismo la lenta descomposición de la materia vegetal en condiciones frías y ácidas, y la ocupación de grandes extensiones de turberas y prados de suelos turbosos ricos en materia orgánica y taninos (Tabla 5, más detalles en Negro 2005), proven al agua de un característico color amarillo-marrónáceo. Los valores promedio resultaron más elevados en turberas y lagunillas someras (1.57 y 1.42 mg L^{-1} ; respectivamente), con mayor influencia de la vegetación acuática y los lixiviados desde la cuenca; y mínimos en las lagunas profundas (0.78 mg L^{-1}). Son destacables los valores encontrados en laguna de La Clara (LC, rango: 0.21 - 0.36 mg L^{-1}) para las muestras fuera del verano.

Tabla 5. Promedios, calculados en varias fechas, de algunos parámetros limnológicos básicos del complejo glaciar de Sierra Segundera. (ID en Anexo 1)

Table 5. Averages, calculated over several dates, of some basic limnological parameters of the mountain range glacier complex of Segundera Mountains. (ID in Annex 1)

ID	ALT msnm	COND μS cm ⁻¹	pH	ALC meq L ⁻¹	Si mg L ⁻¹	COL 380 mg Pt L ⁻¹	COL 440 mg Pt L ⁻¹	Taninos mg Pt L ⁻¹	CLOa μg L ⁻¹	CLOtot μg L ⁻¹	IM	
1	2002	19.2	4.6	0.020	0.02	158.70	80.30	2.25	1.20	1.03	2.75	
2	1928	18.7	5.5	0.060	0.66	30.45	15.24	0.53	1.29	1.07	4.10	
3	1925	12.5	6.3	0.050	0.15	90.20	45.55	1.33	2.11	1.78	3.30	
4	1882	12.5	6.7	0.052	0.00	36.30	18.21	0.60	1.49	1.26	2.90	
5	1828	8.8	7.2	0.035	0.02	73.50	37.08	1.10	10.43	8.99	2.70	
6	1807	11.95	6.8	0.069	0.06	96.60	48.79	1.41	3.72	3.15	2.90	
7	1798	18.0	6.1	0.058	0.17	189.75	96.05	2.66	3.40	2.98	3.00	
8	1726	8.55	6.1	0.027	0.35	71.10	35.86	1.07	3.97	3.41	2.20	
9	1702	11.3	6.9	0.100	0.41	43.50	21.86	0.70	2.85	2.40	3.05	
10	1682	10.1	6.9	0.054	0.12	49.05	24.67	0.78	3.89	3.28	2.60	
11	1675	9.05	5.3	0.032	0.11	106.80	53.97	1.55	3.13	2.68	2.85	
12	1625	10.5	6.6	0.054	0.30	60.80	30.63	0.93	3.75	2.92	2.88	
13	1623	13.5	6.3	0.064	0.22	100.70	50.87	1.47	8.11	5.43	2.70	
14	1628	11.0	6.3	0.055	0.12	139.80	70.71	1.99	7.69	6.65	2.60	
15	1616	11.0	6.3	0.055	0.12	139.80	70.71	1.99	7.69	6.65	2.60	
16	1607	10.1	6.9	0.067	0.29	43.95	22.09	0.71	3.22	2.74	2.90	
17	1605	7.5	6.1	0.018	0.05	22.83	11.37	0.42	2.06	1.64	3.17	
18	1595	13.0	6.6	0.095	0.17	53.55	26.96	0.84	5.40	4.65	2.90	
19	1595	8.2	5.9	0.021	0.06	46.96	23.61	0.75	2.85	2.32	3.12	
20	1345	19.2	4.6	0.020	0.02	158.70	80.30	2.25	1.20	1.03	2.75	
GRUPO	N											
B	4	1774	13.32	6.1	0.056	0.26	100.06	50.55	1.46	4.70	4.04	3.15
C	1	1798	18.05	6.1	0.058	0.17	189.75	96.05	2.66	3.40	2.98	3.00
D	3	1675	11.22	6.3	0.052	0.11	81.42	41.09	1.21	4.89	3.63	2.91
E	4	1847	12.38	5.9	0.035	0.04	93.83	47.39	1.38	4.06	3.49	2.80
F	6	1656	10.58	6.6	0.066	0.27	53.66	27.01	0.84	3.84	3.23	2.76
G	1	1605	7.50	6.1	0.018	0.05	22.83	11.37	0.42	2.06	1.64	3.17
TIPO	N											
lagunillas	8	1811	12.85	6.0	0.045	0.15	96.94	48.97	1.42	4.38	3.76	2.98
lagunas	7	1649	10.14	6.6	0.059	0.24	49.25	24.78	0.78	3.59	3.00	2.81
turberas	4	1706	12.93	6.3	0.053	0.13	108.50	54.83	1.57	4.52	3.47	2.93

4.4. Limnología de la Laguna Clara (LC).

Se realizaron 3 campañas de perfiles de temperatura y oxígeno para conocer su posible estratificación, dado que la profundidad lo permite. En febrero, con superficie congelada, se realizó un perfil con temperaturas en el rango 2.4 – 2.7 °C y niveles de oxígeno 7.8 – 8.7 mg L⁻¹; con una curva de forma ortograda (Figura 6). Durante el agosto los perfiles presentaron forma clinograda con rango de 17.6 – 10.8 °C y 8.3 – 0.1 mg L⁻¹; con una termoclina de 5.4 °C y oxiclina de 7.3 mg L⁻¹ situada entre 10-13 m de profundidad. En condiciones de estiaje máximo los niveles de oxígeno disuelto en toda la columna fueron elevados (Figura 6) y próximos a los teóricos de saturación para esa altitud

(O_{2max}: 8.7 – 7.3 mg L⁻¹ en verano y 11.7 – 9.8 mg L⁻¹ en invierno, en la cota 1544 msnm), con anoxia por debajo de 12.5 m. El volumen de hipolimnion calculado es 4095 m³ (el 1.16% de la cubeta).

Por lo tanto se confirma que LC es la masa de agua natural más importante de Sierra Segundera, tanto por su volumen y estado de conservación como desde un punto de vista cualitativo, por ser la única masa de agua en la que se ha podido comprobar estratificación estival y formación de hipolimnion. La fragilidad de este ecosistema deriva de la alta dependencia de la cantidad y características del agua de precipitación, dada su dinámica funcional endorreica y la existencia de un hipolimnion anóxico (supone casi el 2% del volumen de agua) que depende para su buen estado de conservación

de la producción primaria. Esta producción epilimnética debe permanecer equilibrada con la reserva profunda de oxígeno durante la mezcla; siendo la duración e intensidad de la estratificación factores ligados a la climatología, y la producción primaria controlada exógenamente por los nutrientes que llegan por vía aérea y terrestre desde la cuenca.

4.5. Caracterización de las comunidades bióticas y su estado de conservación.

En todo el complejo lacustre se han identificado en torno a 850 taxones acuáticos o semiacuáticos, de los cuales casi el 75% se corresponden con seres microscópicos que englobamos bajo el concepto general “micro-

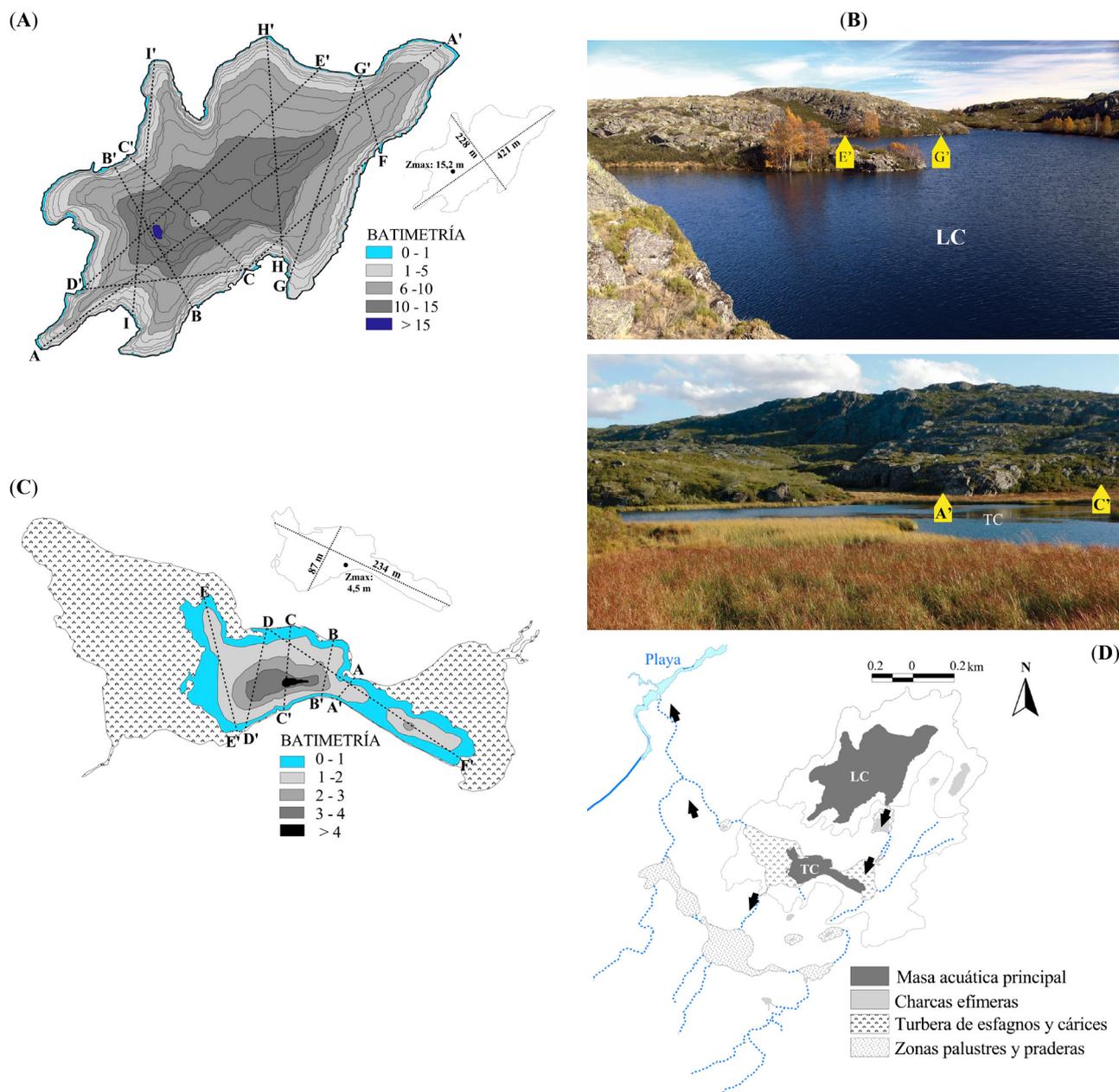


Figura 5. Mapas batimétricos de la laguna (A) y turbera (C) de La Clara, con indicación de los transectos de batimetría. (B) Panorámica de la orilla norte de la laguna (arriba) y orilla sur de la turbera. (D) Circulación del caudal superficial y elementos que configuran los complejos palustres aledaños en La Clara. Escala en metros.

Figure 5. Bathymetric maps of La Clara lake (A) and bog (C), with indication of the bathymetry transects. (B) Panoramic view of the northern shore of the lake (above) and the southern shore of the bog. (D) Direction of the surface flow and elements that make up the surrounding palustrine areas in La Clara. Scale in meters.

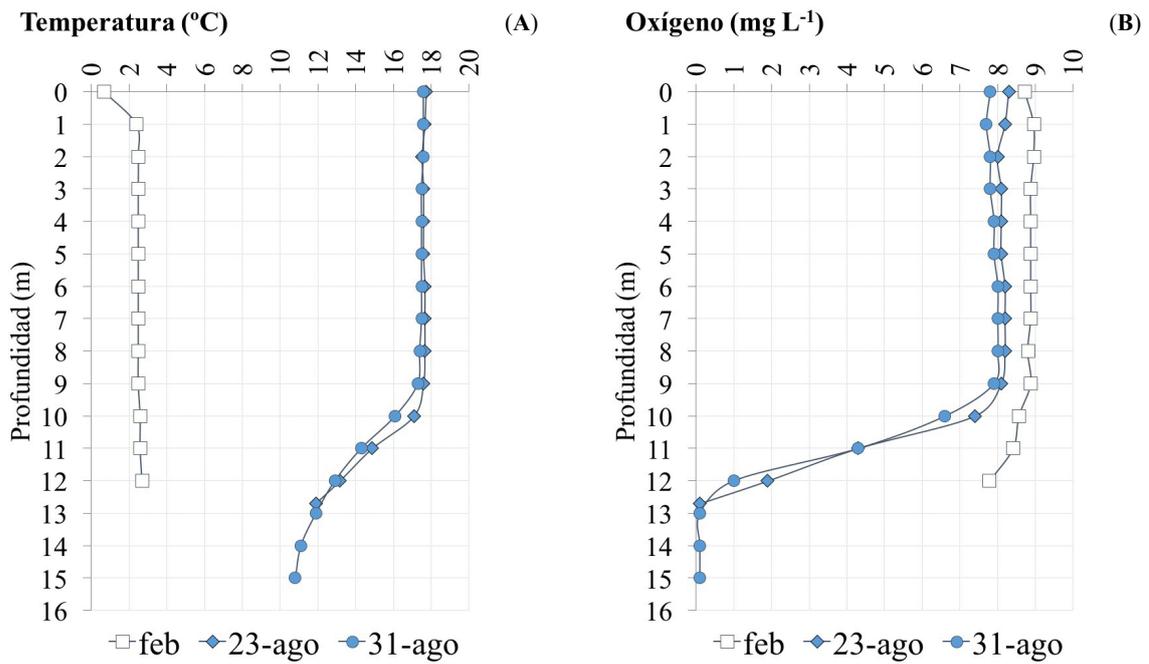


Figura 6. Perfiles de temperatura (A) y oxígeno disuelto (B) para fechas de invierno y verano en la laguna de la Clara.
 Figure 6. Temperature (A) and dissolved oxygen (B) profiles for winter and summer dates in La Clara lake.

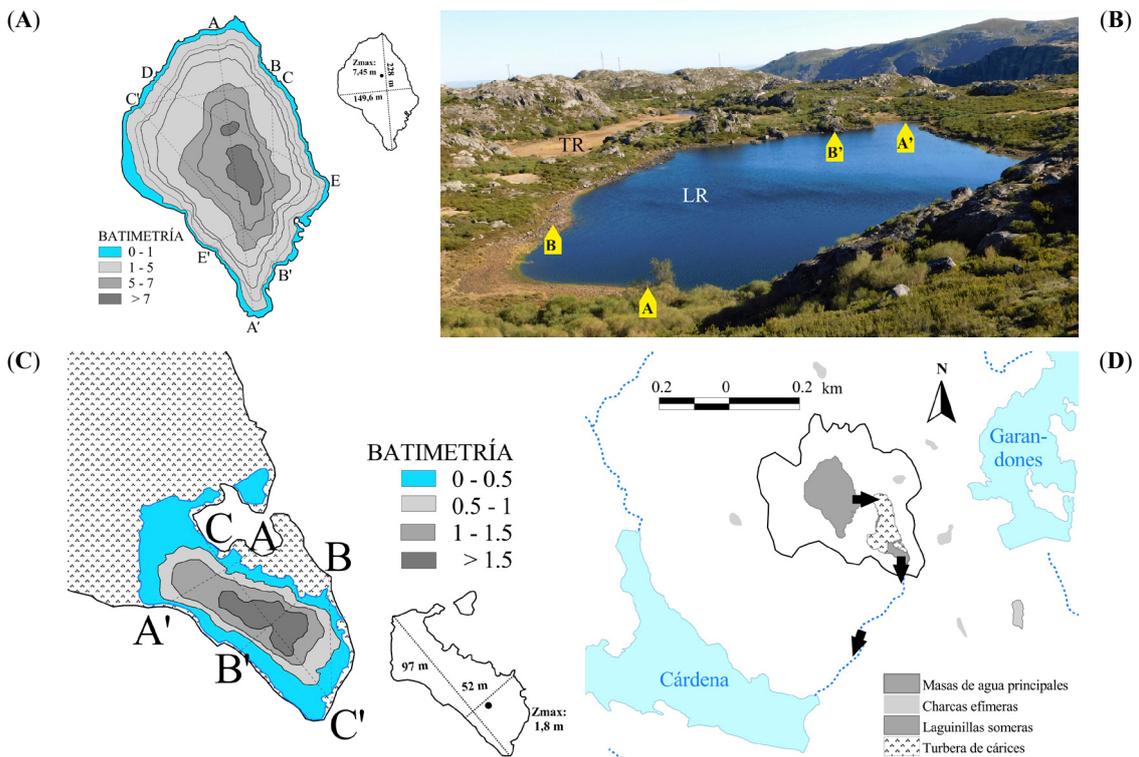


Figura 7. Mapas batimétricos de la laguna (A) y turbera (C) de La Roya, con indicación de los transectos de batimetría (B) Panorámica desde el NO de la laguna y al fondo la turbera. (D) Circulación del caudal superficial y elementos que configuran el complejo lacustre de La Clara. Escala en metros.

Figure 7. Bathymetric maps of La Roya lake (A) and bog (C), with indication of the bathymetry transects. (B) Panoramic view from the NW of the lake and the bog in the distance. (D) Direction of the surface flow and elements that make up the surrounding palustrine areas in La Roya. Scale in meters.

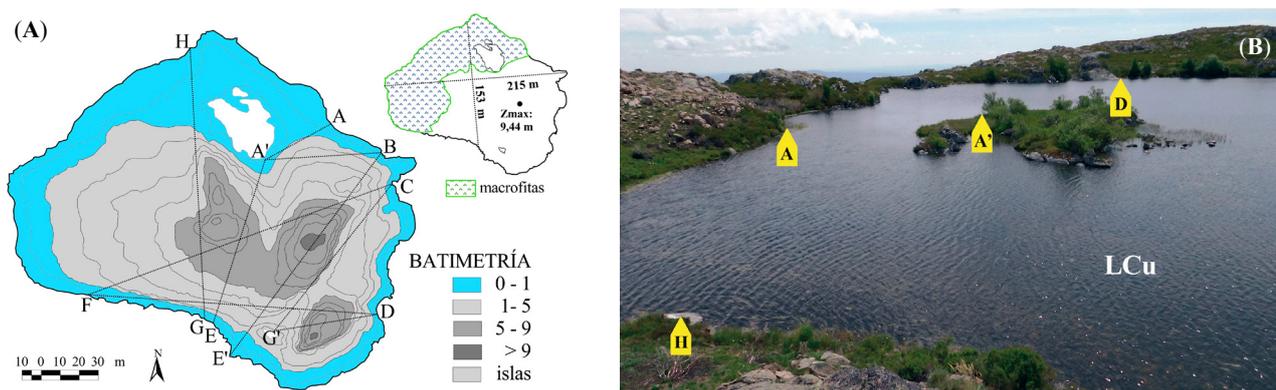


Figura 8. Mapa batimétrico de la laguna de El Cuadro (A), con indicación de los transectos de batimetría. (B) Panorámica desde el NO de la laguna. Escala en metros.

Figure 8. Bathymetric map of the El Cuadro lake (A) with indication of the bathymetry transects. (B) Panoramic view from the NW of the lake. Scale in meters.

algas del fitoplancton y fitobentos” y el 15% en el “zooplancton y zoobentos” (Tabla 6). La elevada riqueza de zigofíceas y diatomeas en el plancton puede ser debida en parte a especies bentónicas suspendidas accidentalmente por el oleaje hasta la zona limnética (ticoplanton), dado el pequeño tamaño de los ecosistemas (Negro, 2000, 2005).

La producción primaria fue monitorizada a través de las medidas de clorofila, encontrándose valores medianos bajos de clorofila “a” ($2.92 \mu\text{g L}^{-1}$), con un intervalo de $0.64 \mu\text{g L}^{-1}$ (LPT en julio) a $19.36 \mu\text{g L}^{-1}$ (TR en agosto). Todo los valores medidos, incluso los de medios más someros y con abundancia de microalgas (Tabla 5), se consideran de aguas oligotróficas (Muñoz *et al.*, 2003; Negro, 2005) según la revisión para aguas poco mineralizadas y coloreadas de Nürnberg (1996) sobre los valores asignados en OCDE (1982). No se encontraron taxones característicos de ambientes eutróficos y predominaron las especies de tamaños celulares pequeños. Siendo las clorofitas y cianobacterias más abundantes en el verano, las zigofíceas en primavera-verano y las crisofíceas en primavera u otoño. La producción fitoplanctónica depende de la magnitud de la cuenca (relación S_C/V) ya que aumenta en paralelo con la cantidad de cationes y de nutrientes disueltos aumentando así la producción primaria; por lo tanto, en estas lagunas de poca influencia humana adquiere sentido la utilización del concepto de oligotrofia desde un punto de vista geológico y geomorfológico (Negro, 2000).

Con respecto a los elementos faunísticos dominan las especies típicas de aguas ácidas y frías en ambientes oligotróficos (sobre todo permanentes) y mesotróficos-distróficos (sobre todo turberas y lagunas temporales), con mucha vegetación litoral y sumergida. Las limitaciones impuestas por la baja concentración de nutrientes y sales minerales enriquece las comunidades en grupos que utilizan sílice como base esquelética (tecamebas, rotíferos, esponjas, gastrotrícos, etc.) y las empobrece en otros que necesitan carbonato cálcico, como los moluscos.

Se recoge la presencia de 17 vertebrados acuáticos o semiacuáticos, la mayoría anfibios (Tabla 6); incluyendo la presencia estacional de un mamífero de gran tamaño: la nutria paleártica (*Lutra lutra*) a pesar de las condiciones oligotróficas (Morales, 2015). Es resaltable que aunque los anfibios presentan localmente buenas poblaciones únicamente dos especies se pueden considerar altimontanas y, por el contrario, otras más generalistas y euríhipsas, como la rana verde común (*Pelophylax perezi*), son las que presentan mejores poblaciones (Morales, 2015). Con respecto a los peces en altitud sólo se conoce la presencia antigua de truchas en cauces permanentes y en lagunas grandes y profundas como Lacillo (Pardo, 1948). Rodríguez & Palacios (1989) recogen varios intentos fallidos de introducción del salvelino (*Salvelinus fontinalis*) y de la trucha arco-iris (*Oncorhynchus mykiss*) en este complejo lacustre. La carencia entre la ictiofauna ibérica de especialistas en altitud (Almodóvar & Elvira, 2000) sugiere que la distribución actual de ciprínidos y salmónidos en estas lagunas responde a introducciones destinadas antaño al suministro de comida para supervivencia en la Sierra, y más recientemente al manejo piscícola deportivo. Estos autores han constatado la presión negativa de los salmónidos introducidos, incluida la trucha común (*Salmo trutta*), sobre los anfibios en lagunas altopirenaicas pero además demuestran que mantener las poblaciones de ciprínidos, también introducidos, evita la posible recolonización por los anfibios si únicamente se erradican las truchas (Bosch *et al.*, 2006; Miró & Ventura, 2013; Miró *et al.*, 2018).

Los trabajos realizados en LC muestran la importancia que tienen las lagunas permanentes para el tritón ibérico (*Lissotriton boscai*), que mediante el desarrollo de pedomorfosis larvaria (Morales & Cruz, 2011; Morales *et al.*, 2013) pueden obtener recursos en profundidad que en el medio aéreo están fuera de su alcance gran parte del año. Y así también hacer un reparto heterocrónico del alimento con los adultos, no activos periodo invernal. En muchas la-

Tabla 6. Resultados de riqueza biológica en cada ecosistema en función de los patrones de aislamiento durante la dinámica lacustre de estiaje. (Microalgas: incluye todos los productores primarios (# inventarios completos en Negro, 2000); Plantas: incluye plantas vasculares, helechos y carófitos; Protozoos: incluye los Filos Amebozoa, Ciliphora, Euglenozoa; No Artr.: incluye Porifera, Bryozoa, Platyhelminthes, Gastrotricha, Tardigrada, Nematoda, Cephalorhyncha, Mollusca y Annelida; Mamíferos: incluye sólo especies acuáticas o semiacuáticas; (## datos de Muñoz & Aldasoro, 1995 y Muñoz *et al.*, 2003; * datos de Galán y Cabana, 2008; ** de Morales *et al.*, 2017); (-) indica resultados negativos con pocos o ausencia de muestreo, (0) indica que hay suficientes muestreos negativos).

Table 6. Results of biological richness in each ecosystem as a function of the isolation patterns during the lacustrine dynamics of low water. (Microalgae: includes all of the primary producers (# full inventories data from Negro, 2000); Plants: includes vascular plants, ferns and carophytes; Protozoos: includes Amebozoa, Ciliphora, Euglenozoa Phylum; No Artr.: includes Porifera, Cnidaria, Mollusca, Cephalorhyncha, Gastrotricha and Annelida; Mammals: includes only aquatic or semi-aquatic species; (## data from Muñoz & Aldasoro, 1995 and Muñoz *et al.*, 2003; * data of Galán and Cabana 2008; ** de Morales *et al.*, 2017); (-) indicates negative results with few or no samples, (0) indicates that there are sufficient negative samples).

ID	Secado completo de la cubeta	Aislamiento de red hidrográfica superficial	FITOPLANCTON Y FITOBENTOS	MACROFITAS	ZOOPLANCTON Y MEIOBENTOS	MACRO BENTOS**	MACROFAUNA						
			Microalgas #	Briófitos ##	Plantas	"Protozoos"	Rotíferos	Crustáceos	Acariformes	No Artr.	Peces	Anfibios	Mamíferos
1	NO	SI	41	1	8	-	-	7	-	2	0	2	0
2	NO	SI	89	3	5	-	-	-	-	-	-	-	-
3	NO	SI	137	6	6	-	-	-	-	-	-	-	-
4	NO	SI	212	2		-	-	7	-	-	0	3*	0
5	SI	SI	241	-	4	7	14	7	-	-	0	6	0
6	NO	SI	107	9	20	-	-	-	-	3	0	4	0
7	SI	SI	137	2	9	-	-	7	-	4	0	3*	0
8	NO	NO	146	5	16	-	-	10	-	5	2	0	0
9	NO	NO	154	6	14	-	-	-	-	7	2	8	3
10	NO	SI	102		9	13	18	11	1	6	1	2	0
11	SI	SI	206	4	13	-	-	9	-	2	0	5	0
12	NO	SI	307	-	3	16	11	9	1	6	2	1	0
13	NO	SI	419	8	20	-	-	11	2	-	1	2	0
14	SI	SI	295	7	20	-	-	-	-	-	1	4	0
15	SI	SI	295	6	5	-	-	-	-	-	2	5	0
16	NO	SI	279	-	4	-	-	-	-	-	2	0	0
17	NO	SI	307	-	5	5	7	9	-	8	2	5	1
18	NO	SI	252		4	-	-	4	-	-	2	4	0
19	NO	SI	391	9	19	5	7	11	-	-	2	3	2
20	NO	NO	-	-	-	3	3	2	-	8	3	6	1
<i>Sierra Segundera:</i>			619	21	28	58	25	34	3	35	4	10	3

gunas los anfibios comparten orillas con truchas y bermejuelas (*Achondrostoma arcasii*), y aunque se desconocen las interacciones particulares, parecen ser peor toleradas por los urodolos (Orizola & Braña, 2006). Lo que podría ser una de las explicaciones de su escasez en Sierra Segundera (Morales, 2015), así como de la reducida presencia en los medios leníticos de *Rana iberica* (Bosch *et al.*, 2006).

4.6 Reflexiones finales

El estudio multiescalar y pluridisciplinar de los complejos lacustres es necesario para planificar una gestión basada en el conocimiento científico que favorezca la implantación de modelos de conservación que inspiran

las directivas europeas del agua y de hábitats, dado que existe una estrecha relación entre las masas de agua, las características de sus cuencas y sus comunidades bióticas (Psenner & Catalan, 1994; Catalan *et al.*, 1992). Además, la relación no siempre es obvia dada la cantidad de variables implicadas (Håkanson, 2005; Johansson *et al.*, 2007) y la intervención de territorio acumulada (Arruebo *et al.*, 2009). Se considera más adecuado el nivel de conocimiento actual en Sierra Segundera para las plantas vasculares, briófitos y vertebrados que para el resto de los seres vivos; y podría desconocerse en gran medida el potencial biológico real y su nivel de conservación.

Los ecosistemas de aguas continentales no son unidades estáticas, sino que están sujetos a una evolución continua (Björk, 2010). La velocidad de estos cambios es alta

en las cuencas de acumulación superficial y productiva pero extremadamente lenta en lagos oligotróficos como los presentes en Sierra Segundera por lo que su estabilidad en el tiempo es una de las características más relevantes que se debe preservar para las generaciones venideras.

Aunque en general el estado de conservación de las lagunas de montaña, dado su aislamiento y ubicación remota, por lo general es aceptable en España existen múltiples actuaciones antrópicas que inducen cambios negativos en sus cuencas (Fernández *et al.*, 2000). En especial las que suponen erosividad de la cuenca; como es el caso del mantenimiento de pastos con incendios recurrentes, la concentración de cabezas de ganado en suelos turbosos, la roturación del monte bajo para crear pastos, y también la construcción de pistas y otros accesos (Anexo 3). La gestión de este complejo lacustre debe abarcar integralmente toda su cuenca y tener en cuenta como riesgo que estos sustratos insolubles son muy sensibles a los aumentos de nutrientes.

La calidad del agua en las lagunas remotas responde a condiciones naturales siendo el único agente de contaminación orgánica el ganado, tanto el residente como el de trashumancia en verano, al igual que señalan Arruebo *et al.* (2009) en los Pirineos. Algunas actividades generadoras de residuos y otros impactos locales, como la pesca o la creciente actividad turística, en sus distintas modalidades de verano e invierno (aumento de accesibilidad en vehículos 4x4), se han incrementado notablemente en las últimas décadas en Sierra Segundera, aunque no se aprecia por el momento tránsito masificado de personas. El esquí alpino es otra actividad económica negativa sobre la conservación de la alta montaña (Arruebo *et al.*, 2009), y actualmente está ausente en Sierra Segundera. Sin embargo la presencia humana masiva en carreras pedestres alpinas es ahora una nueva amenaza de posible masificación (Farias-Torbidoni *et al.*, 2018), en estos entornos hasta ahora aislados.

El estudio durante varias décadas de este complejo lacustre nos permite destacar entre las presiones principales la ganadera, acompañada de la acción constante de incendios en grandes extensiones para controlar el avance del piornal y brezal frente a los pastos (Anexo 3). Incendios en otras zonas serranas próximas podrían tener aquí un importante efecto a través del depósito atmosférico, aspecto aun sin estudiar en estas montañas. La acción conjunta de todas estas presiones antrópicas condicionan en estos momentos la funcionalidad de este complejo lacustre y junto con la explotación hidroeléctrica de los caudales desde hace décadas deforman la integridad natural del complejo glaciar.

Se prevé que la tasa de calentamiento global en los sistemas montañosos de latitud septentrional sea 2-3 veces mayor que la registrada durante el siglo XX (Nogués-Bravo *et al.*, 2007), y las proyecciones modelizadas muestran que puede afectar gravemente tanto a la biodiversidad (p.e. la extinción de especies, cambios en el composición de las comunidades, etc.) como a los recursos hídricos. Por lo tanto, resulta imprescindible evitar nuevas iniciativas que faciliten el acceso y tránsito masificado por el entorno de las lagunas y turberas, así como atenuar de forma efectiva el efecto de problemas clásicos como los incendios y la presión ganadera.

Agradecimientos

Los muestreos originales a lo largo del periodo 1995-2001 se corresponden con los trabajos de tesis doctoral de ambos autores, financiados parcialmente por el Instituto de Estudios Zamoranos “*Florián de Ocampo-CSIC*”. Gracias a todos aquellos que colaboraron en los mismos y con los que compartimos momentos auténticos de limnología de montaña; en especial Caridad de Hoyos, Juan José Aldasoro, Jose Carlos Vega y Miguel Lizana. En 2017-18 se completaron algunos trabajos en las lagunas dentro del Programa “*Seguimiento BIANUAL Intensivo del Lago de Sanabria*” (CHD-18LLNJ), financiado por Confederación Hidrográfica del Duero. Los muestreos fueron debidamente autorizados por el Parque Natural en ambos periodos de estudio. El manuscrito original fue notablemente mejorado por la colaboración de dos revisores anónimos.

Referencias bibliográficas

- ACA, 2006. *Protocol d'avaluació de l'estat ecològic dels estanys*. Ed. Agència Catalana de l'Aigua, Generalitat de Catalunya, Barcelona, 72 pp.
- Allen J., Huntley B. & Watts W.A., 1996. The vegetation and climate of northwest Iberia over the last 14 000 yr. *Journal of Quaternary Science*, 11 (2):125-147.
- Almodóvar, A. & Elvira, B., 2000. *Clasificación y conservación de los lagos de alta montaña de España según su ictiofauna*. En: Granados, I. & Toro, M. (eds.). *Conservación de los lagos y humedales de alta montaña de la Península Ibérica*. Servicio de Publicaciones Universidad Autónoma de Madrid: 201-206 pp.
- Arruebo, T., Pardo, A., Rodríguez, C., Lanaja, F.J. & 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: 135-164. <https://dx.doi.org/10.3989/pirineos.2009.v164.33>
- Battarbee, R.W., 2005. Mountain lakes, pristine or polluted? *Limnetica*, 24 (1): 1-8.
- Battarbee, R.W., Thompson, R., Catalan, J., Grytnes, J.A. & Birks, H.J.B., 2002. Climate variability and ecosystem dynamics of remote alpine and arctic lakes: the MOLAR project. *Journal of Paleolimnology*, 28(1): 1-6. <https://dx.doi.org/10.1023/A:1020342316326>
- Björk, S., 2010. Chapter 2. *The Evolution of Lakes and Wetlands*. En: Eiseltová M. (Ed.) *Restoration of Lakes, Streams, Floodplains, and Bogs in Europe: Principles and Case Studies*. Serie Wetlands: Ecology, Conservation and Management 3. Ed. Springer Science+Business Media. https://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-9265-6_2
- Bosch, J., Rincón P.A., Boyero, L., Martínez-Solano, I. 2006. Effects of Introduced Salmonids on a Montane Population of Iberian Frogs. *Conservation Biology*, 20(1): 180-189.
- Casado de Otaola, S., 2000. *Ilusiones alpinas. Los orígenes de la investigación científica sobre lagos y humedales de alta montaña en España*. En: Granados & Toro (Eds.) *Conservación de los lagos y humedales de alta montaña de la Península Ibérica*. Ed. Servicio de Publicaciones UAM: 19-32 pp.
- Castillo-Jurado, M., 1992. *Morfometría de lagos. Una aplicación a los lagos del Pirineo*. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 286 pp.
- Calvo-Madroño, I., 1914. *Descripción geográfica, histórica y estadística de la provincia de Zamora*. Librería General de Victoriano Suárez, Madrid, 334 pp.

- Camarero, L., Catalan, J., Pla, S., Rieradevall, M., Jiménez, M., Prat, N., Rodríguez, A., Encina, L., Cruz-Pizarro L., Sánchez Castillo, P., Carrillo, P., Toro, M., Grimalt, J., Berdie, L., Fernández, P. & Vilanova, R., 1995. Remote mountain lakes as indicators of diffuse acidic and organic pollution in the Iberian peninsula (AL:PE 2 studies). *Water Air Soil Pollution*, 85(2): 487-492. <https://doi.org/10.1007/BF00476876>
- Catalan, J., 1987. *Limnología de l'estany Redó (Pirineu Central), el sistema pelàgic d'un llac profund d'alta muntanya*. Tesis doctoral, Universidad de Barcelona.
- Catalan, J., Ballesteros, E., Camarero, L., Felip, M. & García, E., 1992. Limnology in the Pyrenean lakes. *Limnetica*, 8: 27-38.
- Catalan, J., Ventura, M., Brancelj, A., Granados, I., Thies, H., Nickus, U., Korhola, A., Lotter, A.F., Barbieri, A. & Stuchlik, E., 2002. Seasonal ecosystem variability in remote mountain lakes: implications for detecting climatic signals in sediment records. *Journal of Paleolimnology*, 28(1): 25-46. <https://doi.org/10.1023/A:1020315817235>
- Catalan, J., Camarero, L., Felip, M., Pla, S., Ventura, M., Buchaca, T., Bartumeus, F., de Mendoza, G., Miró, A. & Casamayor, E.O., 2006. High mountain lakes: extreme habitats and witnesses of environmental changes. *Limnetica*, 25 (1-2): 551-584.
- Catalan, J., Pla-Rabés, S., Wolfe, A.P., Smol, J.P., Rühland, K.M., Anderson, N.J., Kopacěk, J., Stuchlik, E., Schmidt, R., Koinig, K.A., Camarero, L., Flower, R.J., Heiri, O., Kamenik, C., Korhola, A., Leavitt, P.R., Psenner, R. & Renberg, I., 2013. Global change revealed by palaeolimnological records from remote lakes: a review. *Journal of Paleolimnology*, 49: 513-535. <https://doi.org/10.1007/s10933-013-9681-2>
- Castillo A., 2009. *Lagunas de Sierra Nevada*. Ed. Universidad de Granada. Granada, 317 pp.
- Cowton, T., Hughes, P.D. & Gibbar, P.L., 2009. Palaeoglaciación of Parque Natural Lago de Sanabria, Northwest Spain. *Geomorphology*, 108: 282-291.
- Farias-Torbidoni, E.I., Seguí Urbaneja, J., Ferrer, R., Dorado V., 2018. Carreras de trail running y marchas por montaña en España. Número, evolución e incidencia sobre la Red Natura 2000. *Pirineos*, 173: e034. <https://doi.org/10.3989/pirineos.2018.173001>
- Fernández, P., García, J., Pérez, M.E., Pascual, M.L., Hidalgo, J., Rodríguez, A. & Montes, C., 2000. La protección y conservación de los lagos y lagunas de alta montaña en la España peninsular. En: Granados, I. & Toro, M. (eds.): *Conservación de los lagos y humedales de alta montaña en la Península Ibérica*. Servicio de Publicaciones. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid: 33-55 pp.
- Fuentes-Pérez, J.F., Navarro-Hevia, J., Ruiz-Legazpi, J. & García-Vega, A., 2015. Inventario y caracterización morfológica de lagos y lagunas de alta montaña en las provincias de Palencia y León (España). *Pirineos*, 170: e013. <https://dx.doi.org/10.3989/Pirineos.2015.170006>
- Gadea, E., 1954. Nematodos dulceacuícolas de la Sanabria. *Publicaciones Instituto Biología Aplicada*, Tomo XVII: 133-150 pp.
- Galán, P. & Cabana, M., 2008. Poblaciones aisladas de rana bermeja (*Rana temporaria*) en el extremo sudoccidental de su distribución mundial. *Boletín de la Asociación Herpetológica Española*, 19: 121-128.
- Garmendia, J., 1968. *El clima de la provincia de Zamora*. Ed. Centro de Edafología y Biología Aplicada de Salamanca (CSIC). Salamanca, 183 pp.
- Granados, I. & Toro, M. (Eds.), 2000. *Conservación de los lagos y humedales de alta montaña de la Península Ibérica*. Ed. Servicio de Publicaciones UAM. Col. Estudios N° 63. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, 274 pp.
- Håkanson, L., 1981. *A Manual of Lake Morphometry*. Ed. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 80 pp.
- Håkanson, L., 2005. The importance of lake morphometry and catchment characteristics in limnology—ranking based on statistical analyses. *Hydrobiologia*, 541(1): 117-137. <https://doi.org/10.1007/s10750-004-5032-7>
- Hernández, A., Trigo, R.M., Pla-Rabés, S., Valero-Garcés, B., Jerez, S., Rico, M., Vega, J.C., Jambrina, M. & Giralt S., 2015. Sensitivity of two Iberian lakes to North Atlantic atmospheric circulation modes. *Climate Dynamics*, 45 (11–12): 3403–3417. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2547-8>
- Hutchinson, G.E., 1957. *A treatise on limnology. Volumen I. Geography, physics and chemistry*. John Wiley & Sons. New York, 1015 pp.
- Jambrina-Enríquez, M., Recio C., Vega J.C. & Valero-Garcés B., 2017. Tracking climate change in oligotrophic mountain lakes: Recent hydrology and productivity synergies in Lago de Sanabria (NW Iberian Peninsula). *Science of Total Environment*, 590-591: 579-591. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.231>
- Johansson, H., Brolin, A. & Håkanson L., 2007. New approaches to the modelling of lake basin morphometry. *Environ Model Assessment*, 12(3): 213–228. <https://doi.org/10.1007/s10666-006-9069-z>
- Leira, M. & Santos, L., 2002. An early Holocene short climatic event in the northwest Iberian Peninsula inferred from pollen and diatoms. *Quaternary International*, 93-94: 3-12. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00002-2](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00002-2)
- Luque, J.A. & Julià, R., 2002. Lake sediment response to land-use and climate change during the last 1000 years in the oligotrophic Lake Sanabria (northwest of Iberian Peninsula). *Sedimentary Geology*, 148(1-2): 343-355. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(01\)00225-1](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(01)00225-1)
- Luque, J.A., 2003. *El Lago de Sanabria: un sensor de las oscilaciones climáticas del Atlántico Norte durante los últimos 6.000 años*. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona. Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica, 384 pp.
- Margalef, R., 1955a. Comunidades bióticas de las aguas dulces del noroeste de España. *Publicaciones Instituto Biología Aplicada*, Tomo XXI: 5-85.
- Margalef, R., 1955b. Contribución al estudio de la fauna de aguas dulces del noroeste de España. *Publicaciones Instituto Biología Aplicada*, Tomo XXI: 137-171.
- Martínez de Azagra, A. & Navarro, J., 1996. *Hidrología forestal: el ciclo hidrológico*. Servicios de Publicaciones de la Universidad de Valladolid. Valladolid, 286 pp.
- Miró, A. & Ventura, M., 2013. Historical use, fishing management and lake characteristics explain the presence of non-native trout in Pyrenean lakes: Implications for conservation. *Biological Conservation*, 167: 17-24. <https://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2013.07.016>
- Miró, A., Sabás, I. & Ventura, M., 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>
- MOLAR Water Chemistry Group, 1999. The MOLAR Project: atmospheric deposition and lake water chemistry. *Journal of Limnology*, 58(2): 88-106.
- Morales, J.J., 2015. *Ecología de la nutria paleártica (Lutra lutra L., 1758) en lagunas y embalses ibéricos de alta montaña. Interacciones con las poblaciones de anfibios durante su periodo reproductor*. Tesis Doctoral. Área de Zoología, Universidad de Salamanca, 464 pp + anexos.

- Morales, J.J. & Cruz, D., 2011. Pedomorfosis de *Lissotriton boscai* a gran profundidad en una laguna de alta montaña (Sierra Segundera, NO de Zamora). *Boletín Asociación Herpetológica Española*, 22(2): 67-71.
- Morales, J.J., Cruz, D., Delgado, P., Lizana, M., 2013. Empleo de transectos subacuáticos en estudio preliminar de una población de tritones ibéricos *Lissotriton boscai* Lataste, 1879 pedomórficos en una laguna de montaña (La Clara, Zamora). *Munibe*, 61: 153-159.
- Morales, J.J., Negro, A.I. & Lizana M., 2017. Reseñas sobre diversidad de invertebrados no artrópodos dulceacuícolas en ecosistemas oligotróficos y poco mineralizados de la red Natura 2000 (NO de España). *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 24: 21-44.
- Mosello, R., Lami, A., Marchetto, A., Rogora, M., Wathne, B., Lien, L., Catalan, J., Camarero, L., Ventura, M., Psenner, R., Koinig, K., Thies, H., Sommaruga-Wögrath, S., Nickus, U., Tait, D., Thaler, B., Barbieri, A. & Harriman, R., 2002. Trends in the water chemistry of high altitude lakes in Europe. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus*, 2(2): 75-89. <https://doi.org/10.1023/A:1020138221582>
- Muñoz, J. & Aldasoro J.J., 1995. *Sphagnum majus* ssp *norvegicum* and *Sphagnum subtile*, New to the Iberian Peninsula. *The Bryologist*, 98: 38-40.
- Muñoz, J. Aldasoro J.J., Negro, A.I., De Hoyos, C. & Vega, J.C., 2003. Flora and water chemistry in a relictic mire complex: the Sierra Segundera mire area (Zamora, NW Spain). *Hydrobiologia*, 495: 1-16.
- Muñoz-Sobrino, C., Ramil-Rego, P. & Gómez-Orellana, L., 2004. Vegetation of the Lago de Sanabria area (NW Iberia) since the end of the Pleistocene: a palaeoecological reconstruction on the basis of two new pollen sequences. *Vegetation History & Archaeobotany*, 13 (1): 1-22. <https://doi.org/10.1007/s00334-003-0028-1>
- Negro, A.I., 2000. Lagunas y turberas de las Sierras Segundera y Cabrera. Características físico-químicas y fitoplancton. *Anuario 2000 Instituto de Estudios Zamoranos Florián de Ocampo*: 209-256.
- Negro, A.I., 2005. *Ecología del fitoplancton de las lagunas y turberas de las Sierras Segundera y Cabrera y de la Cordillera Cantábrica*. Tesis Doctoral. Área de Ecología, Universidad de Salamanca, 413 pp.
- Nogués-Bravo, D., Araújo, M.B., Errea, M.P., Martínez-Rica, J.P. 2007. Exposure of global mountain systems to climate warming during the 21st Century. *Global Environmental Change*, 17: 420-428. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.11.007>
- Nürnberg, G.K., 1996. Trophic state of clear and colored, soft-and hardwater lakes with special consideration of nutrients, anoxia, phytoplankton and fish. *Lake and Reservoir Management*, 12(4): 432-447. <https://doi.org/10.1080/07438149609354283>
- Pascual, M.L., Rodríguez, A., Hidalgo, J., Borja, F., Díaz, F. & Montes, C., 2000. Distribución y caracterización morfológica y morfométrica de los lagos y lagunas de alta montaña de la España peninsular. En: Granados & Toro (eds.). *Conservación de los lagos y humedales de alta montaña de la Península Ibérica*: 51-78 pp.
- OCDE, 1982. *Eutrophication des eaux. Méthodes de Surveillance, d'Évaluation et de Lutte*. Ed. Organisation for Economic Co-operation and development -OCDE-, Paris, 154 pp.
- Orizaola, G. & 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: 171-178. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2006.00023.x>
- Pardo, L., 1928. *Los lagos de España*. Ed. Imprenta Hijo de F. Vives Mora, Valencia, 101 pp.
- Pardo, L., 1948. *Catálogo de los lagos de España*. Biología de las Aguas Continentales VI. Año XIX, Nº 41. Ministerio de Agricultura, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid, 532 pp + 7 láminas.
- Pérez-Alberti, A. & Valcárcel-Díaz M., 1998. *Caracterización y distribución espacial del glaciario en el noroeste de la Península Ibérica*. En: Gómez Ortiz & Pérez Alberti (eds.) *Las huellas glaciares de las montañas españolas*. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela: 17-63 pp.
- Psenner, R. & Catalan, J., 1994. *Chemical composition of lakes in crystalline basins: a combination of atmospheric deposition, geologic background, biological activity and human action*. *Limnology Now: A Paradigm of Planetary Problems*, 255- 314 pp.
- Rodríguez, M. & Palacios, J., 1989. Fauna que ha colonizado la provincia de Zamora. *Boletín Informativo de la Diputación de Zamora*, 40: 29-33.
- Rodríguez-Rodríguez, L., Domínguez-Cuesta, M.J. & Jiménez-Sánchez, M., 2011a. Reconstrucción en 3D del máximo glaciar registrado en la cuenca del Lago de Sanabria (Noroeste de España). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección Geología*, 105 (1-4): 31-44.
- Rodríguez-Rodríguez, L., Jiménez-Sánchez, M., Domínguez-Cuesta, M.J., Rico, M.T. & Valero-Garcés, B., 2011b. Last deglaciation in northwestern Spain: New chronological and geomorphologic evidence from the Sanabria region. *Geomorphology*, 135: 48-65. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.07.025>
- Ros, J., 1979. *Prácticas de ecología*. Ed. Omega. Barcelona, 181 pp.
- Rühland, K.M., Paterson, A.M. & Smol, J.P., 2015. Lake diatom responses to warming: reviewing the evidence. *Journal Paleolimnology*, 54: 1-35. <https://doi.org/10.1007/s10933-015-9837-3>
- SCOR-UNESCO, 1966. *Determination of photosynthetic pigments in sea water*. UNESCO Monographs on Oceanographic Methodology, 1. Paris, France, 69 pp.
- Skjelkvåle, B.L. & Wright, R.F., 1998. Mountain lakes; sensitivity to acid deposition and global climate change. *Ambio*, 27 (4): 280-286.
- Stickel, R., 1929. Observaciones de morfología glaciar en el NO de España. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 29: 297-313.
- Taboada, J., 1913. El Lago de San Martín de Castañeda. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 13: 359-386.
- Toro, M., I. Granados, S. Robles, & Montes, C., 2006. High mountain lakes of the Central Range (Iberian Peninsula): regional limnology & environmental changes. *Limnetica*, 25 (1-2): 217-252.
- Utermöhl, H., 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton Methodik. *Mitt.Int.Ver. Theor. angew. Limnology*, 9: 1-38.
- Vega, J.C., De Hoyos, C. & Aldasoro, J.J., 1991. *Estudio del Sistema de Lagunas de las Sierras Segundera y Cabrera*. Monografías de las Red de Espacios Naturales de Castilla y León. Ed. Junta de Castilla y León, Valladolid, 46 pp.
- Vega, J.C., De Hoyos, C., Aldasoro, J.J., De Miguel, J. & Fraile, H., 2005. Nuevos datos morfométricos para el Lago de Sanabria. *Limnetica*, 24 (1-2): 115-122.
- Wetzel, R., 1983. *Limnología*. Ed. Omega. Barcelona, 679 pp.
- Williamson, C.E., Saros, J.E., Vincent, W.F. & Smold, J.P., 2009. Lakes and reservoirs as sentinels, integrators, and regulators of climate change. *Limnology and Oceanography*, 54 (6, part 2): 2273-2282. https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2273

Anexo 1. Localización geográfica de los ecosistemas acuáticos estudiados (coordenadas ETRS89-UTM-30N) y principales características limnológicas, geomorfológicas y patrones de evolución en las últimas décadas.

Annex 1. Geographical location of the aquatic ecosystems studied (ETRS89-UTM-30N coordinates) and the main limnological and geomorphological characteristics and evolution patterns in recent decades.

ID	Abreviatura / Nombre	Grupo masa acuática	Grupo geomorfo-génesis	Geología	Alteraciones / Origen / HidroM	Evolución	CG _L UTM-X	CG _L UTM-Y	ZH	Cauce	Código CZH	TM
1	LPt / Patos	E	A	1	Na / 1 / S	3	190273.07	4683044.03	A	Vidulante	ZA-34	P
2	LPJ / Pies Juntos ¹	B	C	2	Na / 2 / S	2	185801.25	4678030.58	A	Rubio	ZA-33	P
3	LPj / Pies Juntos ²	B	C	2	Na / 2 / S	2	185710.42	4677965.26	A	Rubio	ZA-33	P
4	LPI / Piatorta	E	B	3	Na / 2 / S	1	187239.87	4681158.80	A	Mermiñeira	ZA-36	P
5	LV / Ventosa	E	B	3	Na / 1+2 / N	1	190305.17	4676407.61	A	Serradeiro	ZA-2	G
6	TAc / Aguas Cernidas	D	C	2	Na / 2 / S	2+3	186412.22	4677227.19	A	Aguas Cernidas	ZA-32	P
7	TH / Laguna Herbosas	C	C	2	Na / 2 / S	3	185906.49	4676991.84	A	Rubio	ZA-31	P
8	LPe / Pedriña	F	C	2	Na / 1+5 / N	1	185787.18	4668435.94	S	Corralicos	ZA-25	P
9	LL / Lacillo	F	C	2	Na / 5 / S	1	186995.24	4678561.17	A	Lacillo	ZA-1	P
10	LCu / Cuadro	F	D	4	Na / 4 / N	1+3	187768.29	4672760.01	T	Vallitas	ZA-9	G
11	LCa / Camposagrado	E	C	2	Na / 1 / S	3	18349839	4671027.58	S	Cárdena	ZA-5	P
12	LR / La Roya	F	C	2	Na / 1 + 5 / S	1	186480.73	4671792.53	S	Cárdena	ZA-8	G
13	TR / Roya	D	C	2	Na / 1 + 3 / S	3	186637.07	4671658.43	S	Cárdena	ZA-54	G
14	TMV / Majada Vieja ¹	B	C	2	Na / 1 / N	3	186749.43	4668978.86	S	Majada Vieja	ZA-43	P
15	TMv / Majada Vieja ²	B	C	2	Na / 1 / N	3	186393.32	4669406.63	S	Majada Vieja	ZA-43	P
16	LM / Mancas	F	C	2	R / 5+3 / S	1+3	187966.73	4672046.98	T	Mancas	ZA-10	G
17	LC / Clara	G	C	2	Na / 4 / S	1	185205.43	4669983.99	S	La Clara	ZA-7	P
18	LPa / Payón	F	D	2+3	R / 5+3 / S	1+3	187959.83	4671293.10	T	Mancas	ZA-38	G
19	TC / Clara	D	C	2	Na / 3 / S	3	185082.14	4669725.07	S	La Clara	ZA-6	P
20	PCu / La Cueva	G	E	4	A / 6 / N	4	189238.35	4674343.26	T	Tera	-	G

Grupo masa acuática: A:charcas efímeras, B:lagunillas someras, C:turberas de ladera con cubeta somera, D:turberas profundas, con laguna, E:lagunas someras (z<4 m), F:lagunas profundas (Z> 4 m), G:lagos o pozas (Z> 15m), H:embalses.

Grupo geomorfo-génesis: A:laguna de gran altitud sobre cuarcitas, B:laguna de gran altitud sobre gneises de grano fino, C:laguna de altitud sobre gneises glandulares, D:laguna de altitud sobre granodioritas, E:poza de sobreexcavación fluvial por evento catastrófico en ombligo glaciar.

Geología: 1:pizarras y cuarcitas, 2:gneis glandular (facies Ollo de sapo), 3:gneis glandular de grano fino, 4:granodiorita de Ribadelago.

Alteraciones: Na:natural, R:represada, A:artificial por evento de riada (rotura de la presa de Vega de Tera).

Origen: 1:sobreexcavación del casquete glaciar y cierre por morrenas de fondo y laterales, 2:sobreexcavación del casquete glaciar en el fondo, 3:sobreexcavación en material diaclasado, 4:excavación y material diaclasado, 5:circo glaciar, 6:sobreexcavación sedimentos fluviales por riada.

Explotación Hidroeléctrica Moncabril (HidroM): S:si, N:no

Zona hidrográfica (ZH): A: subcuencas del Alto Tera, S: subcuencas del Segundera, T: subcuencas del Tera

Evolución: 1:relleno natural, 2:colmatación por esfagnos, 3:colmatación por evolución palustre de cárices (*Carex+Eriophorum*), 4:sedimentación fluvial río Tera

CZH: código oficial de humedal catalogado según Decreto 194/1994 por el que se aprueba el Catálogo de Zonas Húmedas de Castilla y León y se establece su régimen de protección y el Decreto 125/2001 por el que se modifica el Decreto 194/1994 y se aprueba la ampliación del Catálogo de Zonas Húmedas de Interés Especial.

Término Municipal (TM): P:Porto de Sanabria; G:Galende.

Anexo 2. Cálculos y referencias bibliográficas utilizadas.
 Annex 2. Calculations and bibliographical references used.

Parámetros morfométricos de lagunas		Referencia
volumen de la cubeta	$V_L = \sum V_{n-m}$ siendo $V_{n-m} = 1/3 * (n-m) * [A_m + A_n + \sqrt{A_m A_n}]$ y donde n-m: número de profundidad de las láminas superior e inferior de la capa considerada (intervalos de 1 m), A_n : área de la lámina en la profundidad m y A_m : el área a profundidad n	Hutchinson (1957)
anchura media	$W = S_L / DL_L$ siendo S_L : superficie de la laguna; DL_L : diámetro mayor de la lámina de agua	Wetzel (1983)
alargamiento	$AL = DL_L / W$	
desarrollo del perímetro o índice de forma	$D_P = P_L / (2 * \sqrt{\pi S_L})$ donde P_L : perímetro de la laguna	
profundidad media	$Z_m = V_L / S_L$	
forma de la cubeta	$D_C = Z_m / Z_{max}$ siendo Z_{max} : profundidad máxima	
desarrollo del volumen	$D_V = 3 * Z_m / Z_{max}$	Håkanson (1981)
factor de forma volumétrico	$F^V = V_L / (S_L * Z_{max} / 3)$	
Morfología de cuenca		
altitud media de la cuenca	$H_C = \sum(C_i * a_i) / S_C$ donde C_i : cota media del área i entre dos curvas de nivel; a_i = área i entre dos curvas de nivel; S_C : área de la cuenca	Martínez de Azagra y Navarro (1996); Gordon <i>et al.</i> (2004)
compacidad de Gravelius	$K_G = 0,28 P_C / \sqrt{S_C}$ donde P_C : perímetro de la cuenca	
realce del relieve	$R_R = \Delta h / \sum L_R$ siendo Δh la diferencia entre H_M y H_m , L_R la longitud de ríos y arroyos, H_M y H_m : las cotas máxima y mínima de la cuenca	
densidad de drenaje	$D_D = \sum L_R / S_C$	

Anexo 3. Galería fotográfica.
Annex 3. Photo gallery.

	
<p>Relieve suave característico de la penillanura de Sierra Segundera, con laderas ocupadas por matorral (piornal y brezal) serrano, y fondos por lagunas y turberas.</p>	<p>El embalse de Playa está sometido a grandes y rápidas oscilaciones de nivel, ya que funciona como cámara de carga del caudal vertido desde Puente Porto.</p>
	
<p>Lacillo (LL) es el único ecosistema lacustre creado en un circo glaciar colgado.</p>	<p>El ganado permanece durante gran parte del año en el entorno de los humedales, en este caso en la turbera de Valle Lastra; junto a Puente Porto.</p>
	
<p>Banda árida en la laguna Clara (LC) durante el mes de septiembre, con separación funcional de la lámina de agua de las comunidades litorales, que quedan lejos de la línea de costa y sometidas a deshidratación durante varios meses. Como es el caso de las macollas de esfagnos (<i>Sphagnum capillifolium</i>) que se muestran a la derecha.</p>	
	
<p>Orillas incendiadas en el Cuadro (LCu) que ocasionan la llegada por escorrentía durante el estiaje de cenizas, materia orgánica e inertes a la banda árida.</p>	<p>Comunidades de macrófitas litorales aprovechadas para pastoreo en zonas someras, y laderas quemadas recurrentemente para crear pastos frescos en verano.</p>

Material Complementario 1 (pdf original tamaño A3)

