

VEGETACIÓN SUMERGIDA EN LAGOS DEL PARQUE NACIONAL DE AIGÜESTORTES Y ESTANY DE SANT MAURICI: DIVERSIDAD FUNCIONAL Y EVOLUCIÓN DE LAS COMUNIDADES ASOCIADA A ACTIVIDADES ANTRÓPICAS (PASTOREO Y REPRESAMIENTO)

ESPERANÇA GACIA^{1,2}, JOAN RIERA^{2,3}, ENRIC BALLESTEROS^{1,2},
EGLANTINE CHAPPUIS^{1,2} Y ANA LUMBRERAS^{2,4}

RESUMEN

Este trabajo es una síntesis de los resultados obtenidos en el proyecto “*Los macrófitos del Parque Nacional de Aigüestortes y Estany de Sant Maurici: biodiversidad y evolución de las comunidades asociadas a las actividades tradicionales dentro del Parque (PN I+D+I ref. 118/2003)*” cuyos objetivos eran estudiar y dar a conocer la composición específica, distribución y ecología de las comunidades de macrófitos sumergidos de los lagos del PN, evaluar los posibles cambios en la vegetación frente a variaciones del nivel del agua y de la presión por pastoreo y, finalmente, elaborar un modelo integrado de aplicación directa para la gestión sostenible del Parque Nacional. En los 11 lagos prospectados (8 del PN y 3 de la zona pre-parque) se han encontrado un total de 14 especies de plantas acuáticas representativas de seis comunidades, que dan lugar a paisajes distintos entre y dentro de lagos, y se ha realizado para cada uno de los lagos una cartografía detallada de las comunidades de vegetación. Hemos estudiado las interacciones de la vegetación con el sedimento y la columna de agua, encontrando diversidad funcional asociada a las comunidades de vegetación enraizada. Estimamos de la presión de la ganadería y de la capacidad de carga de los lagos del PN sobre las comunidades de vegetación sumergida indican que se ha producido un ligero aumento de cabezas/ha. día desde 1995 hasta 2005, sin que ello se haya traducido en un cambio en la flora de los lagos. En cuanto al impacto de la construcción de presas, la comunidad de *Isoetes lacustris* ha resultado ser muy sensible a las perturbaciones derivadas de fluctuaciones del nivel del agua, particularmente después de episodios que implican un importante aporte de materia orgánica sobre la vegetación. Hemos seguido también la capacidad de recuperación de la vegetación acuática del lago Baciver, represado en 1992, y se han encontrado tasas muy lentas, y muy variables entre comunidades, de recuperación del paisaje sumergido después de 16 años del impacto. Finalmente se presenta el modelo conceptual integrado de la composición y funcionamiento de la vegetación dentro de las cubetas lacustres del Parque Nacional.

Palabras clave: macrófitos, comunidades, sedimento, redox, nitratos, biomasa, *Isoetes lacustris*, impactos, represamiento, Pirineos.

¹Centre d'Estudis Avançats de Blanes, CSIC Ctra. Accés Cala St. Francesc 14, 17300 Blanes-

²Centre de Recerca d'Alta Muntanya (CRAM), UB-CSIC. Vielha, Valh Aran.

³Dept. Ecología, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona Avd. Diagonal 645, 08028 Barcelona.

⁴Dept. Botánica, Univ. Autónoma de Madrid.

SUMMARY

We summarise the main results of the Project "Macrophytes from the National Park of *Aigüestortes i Estany de Sant Maurici: biodiversity and evolution of the communities associated to the human activities within the Park (PN I+D+I ref. 118/2003)*". The main goal of the project was to study lake macrophyte species composition, distribution and ecology within the NP and to follow vegetation changes associated to water level fluctuations and pressure from cattle. Finally, we aimed at producing a conceptual, integrative model for the sustainable management of the macrophyte vegetation within the NP. We sampled 11 lakes (8 from the NP and 3 from the pre-park area) where we found 14 aquatic plant species and identified six macrophyte communities (assemblages). The occurrence and spatial distribution of these communities differ among lakes, and to illustrate it we have produced a detailed cartography of the different systems. Interactions between macrophyte vegetation, water column and sediment have shown functional diversity associated to rooted macrophyte communities. Cattle pressure (heads/ha-day) increased from 1995 to 2005 without having significant consequences on lake flora. In contrast, dam construction results in long term impacts on macrophyte vegetation, with *Isoetes lacustris* the most sensitive community, particularly when impacted by loads of organic matter. The recovery macrophyte vegetation from lake Baciver, a natural lake that was dammed in 1992, showed very slow and variable rates, and while the *I.lacustris* community still regresses, *S.angustifolium* has started to recover 16 years after the impact. Finally, we present an integrative conceptual model of macrophyte vegetation composition and functioning within lake basins in the National Park.

Key words: macrophytes, communities, sediment, redox, nitrates, biomass, *Isoetes lacustris*, impact, damming, Pyrenees.

INTRODUCCIÓN

Aunque a menudo pasen desapercibidos por ser poco o nada visibles, los macrófitos sumergidos constituyen un elemento fundamental del paisaje del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (PN). Se estima que un 70% de los lagos del Pirineo presenta vegetación de plantas acuáticas (GACIA *et al.* 1994), que en los lagos del PN ha sido objeto de numerosos estudios a lo largo del s. XX, tanto florísticos (i.e. MARGALEF MIR 1981; CARRILLO & NINOT 1992, entre otros), como ecológicos (MARGALEF MIR 1981; GACIA *et al.* 1994), es decir, que relacionan la composición florística de los lagos con la composición química del agua. Estos trabajos coinciden en identificar el grado de mineralización del agua y la eutrofia como principales factores que determinan la distribución de las diferentes especies. Así, *I. lacustris* se encuentra en aguas muy poco mineralizadas y ultraoligotróficas, los natopotámidos *Ranunculus* sp. y *Potamogeton* sp. suelen ser más abundantes en aguas ligeramente mineralizadas dentro del contexto Pirenaico, mientras que *Potamogeton natans* indica una relativa eutrofia (GACIA *et al.* 1994). Sin

embargo, es frecuente la coexistencia de especies distintas dentro de un mismo sistema que, si bien puede explicarse por heterogeneidad en las condiciones dentro del propio lago o por eventos al azar de colonización, requieren de un estudio más detallado. En particular, se sabe que las propias plantas pueden actuar como ingenieras del sistema (JONES *et al.* 1994) modificando las características del propio lago (i.e. OLSEN & ANDERSEN 1994; SMOLDERS *et al.* 2002). Es, por tanto, relevante preguntarse qué porcentaje de la variabilidad del medio lacustre (i.e. sedimento y columna de agua) está asociada a las distintas manchas de vegetación, dentro y entre lagos, para poder valorar el papel de la misma en el funcionamiento del sistema.

El presente proyecto tiene como objetivo general conocer la composición, estructura y diversidad funcional de las comunidades de macrófitos de los lagos del Parque Nacional, haciendo referencia especial a aquellos aspectos que puedan llevar a su degradación o a su recuperación. Los objetivos específicos que nos hemos planteado son: (1) Dar a conocer las comunidades de vegetación sumergida de lagos del PN; su composición específica,

estructura y distribución en lagos emblemáticos. (2) Estudiar la interacción de la vegetación con el medio (agua y sedimento) así como su relación con las características de la cuenca de drenaje. El estudio de estas interacciones se realiza a nivel de comunidad para valorar el papel funcional de la vegetación en los sistemas pirenaicos. (3) Estudiar el impacto de la ganadería dentro del PN y de las fluctuaciones del nivel del agua en sistemas represados. Finalmente, (4) se ha elaborado un modelo conceptual jerárquico como base para un modelo predictivo de la composición de las comunidades de la vegetación litoral de los lagos del parque en función de parámetros ambientales.

MÉTODOS

En 11 lagos (8 del PN y 3 de la zona de preparaque; Fig. 1 y Tabla 1) hemos realizado un muestreo detallado que comprende el estudio de flora, sedi-

mento y columna de agua de cada mancha de vegetación sumergida identificada. Cada mancha, formada por una o más especies de macrófitos, se cartografió y se recolectaron muestras de agua y sedimento. Este trabajo se realizó en su mayoría en el verano de 2005 aunque se añadió algún sistema en el 2007.

Un segundo bloque de trabajo de campo correspondió al muestreo y re-cartografía del Lago de Baciver (Valle de Aran) para seguir el impacto de la inundación y fluctuaciones del nivel del agua después de la construcción de la presa en 1992 (GACIA & BALLESTEROS 1996; 1998). El lago se visitó los veranos de 2005, 2006 y 2007. La cartografía es de 2006. En el mismo valle pero en un pequeño lago situado en una subcuenca más alta (L. Baciver pequeño; Tabla 1), se realizó, en verano de 2006, un experimento *in situ* para testar el impacto de la carga orgánica y la disminución de luz sobre la comunidad de *Isoetes lacustris*.

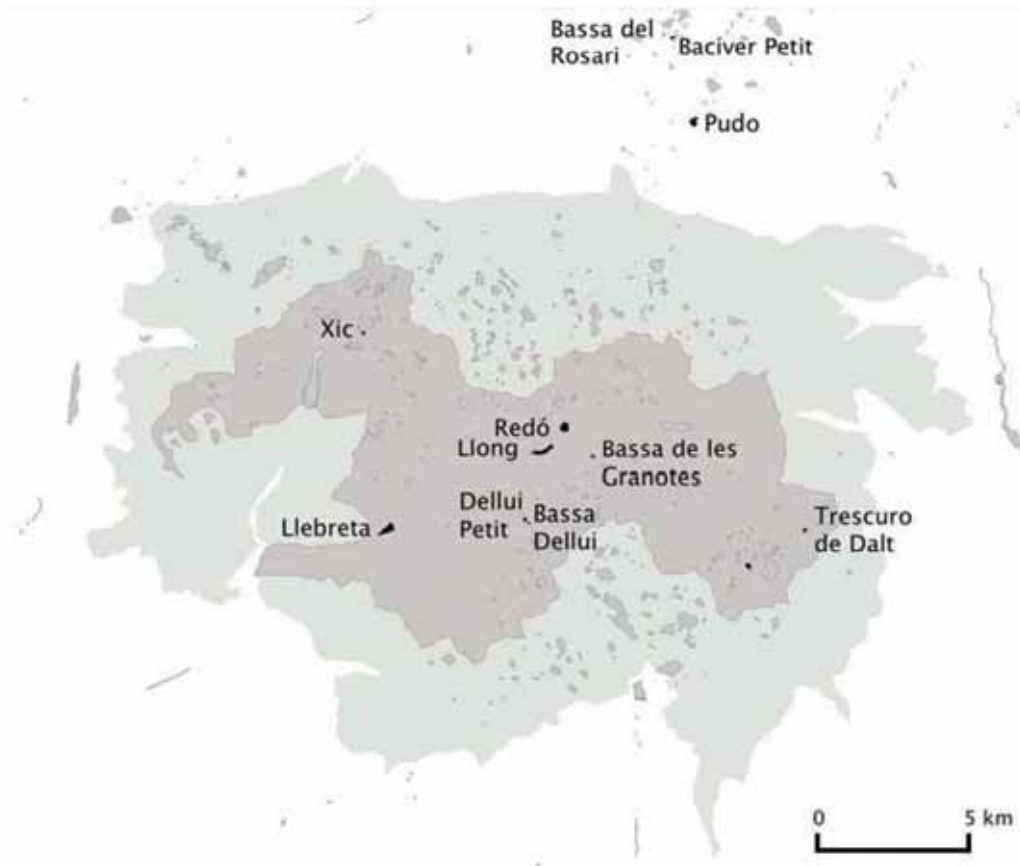


Figura 1. Localización de los lagos estudiados dentro de los límites del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, así como de lagos de referencia fuera del PN.

Figure 1. Location of the studied lakes. Dark grey indicates the limits of the National Park d'Aigüestortes i Estany de St. Maurici.

| ID | Lago | Altitud (m.) | Área lago (ha) | profundidad (máx.; m.) |
|----|-----------------------|--------------|----------------|------------------------|
| BP | Baciver Petit | 2307 | 0,966 | 2 |
| BD | Bassa de Dellui | 2314 | 0,322 | 1 |
| RO | Bassa del Rosari | 2309 | 0,126 | 1 |
| DP | Dellui Petit | 2315 | 1,082 | 3,5 |
| PU | Pudo | 2208 | 4,885 | 10 |
| GR | Bassa de les Granotes | 2323 | 0,740 | 3,5 |
| LL | Llebreta | 1620 | 8,387 | 11,5 |
| LG | Llong | 2000 | 7,409 | 12,5 |
| RD | Redó | 2114 | 6,343 | 11 |
| TR | Trescurro de Dalt | 2044 | 0,907 | 4 |
| XC | Xic | 2228 | 0,724 | 5 |

Tabla 1. Características generales de los lagos estudiados. ID es identificador de lago.

Table 1. General characteristics of the studied lakes. ID is the label assigned to each lake.

Todas estas campañas han sido seguidas del necesario trabajo de laboratorio para el procesado y caracterización de las muestras (i.e., agua, sedimento, agua intersticial y vegetación), y el correspondiente tratamiento y análisis de datos (véase detalles de la metodología en GACIA *et al.* 2009).

Como medida de la heterogeneidad del paisaje sumergido de los lagos se ha calculado la diversidad de comunidades de cada uno de los lagos con el índice de Shannon (H'), considerando el número de comunidades vegetales distintas por sistema y su proporción dentro del sistema (superficie proyectada extraída de las cartografías).

La presión de la ganadería se ha estimado a partir de las bases de datos de (TRAGSEGA. 2006) y la delimitación de las cuencas de drenaje de cada lago, digitalizadas a partir de mapas de curvas de nivel de la base topográfica 1:5000 de Catalunya (<http://www.icc.es>).

RESULTADOS y DISCUSION

Los paisajes sumergidos de los lagos del Parque Nacional

A partir del estudio detallado de la vegetación de los 11 lagos muestreados se han descrito un total de 6 comunidades de vegetación. En los sistemas

estudiados, el número de comunidades por lago varía entre una única comunidad (5 lagos), dos comunidades (4 lagos) o tres o más (2 lagos). Las proporciones correspondientes (45%, 36% y 18%, respectivamente) no son necesariamente representativas de la media de lagos pirenaicos, aunque sí se pueden tomar de forma orientativa. En la figura 2 se muestra, a modo de ejemplo, las cartografías de los lagos Xic (Vall de Cavallers) y Llebreta (Vall de Sant Nicolau), donde se puede apreciar la diversidad de paisajes subacuáticos correspondientes a distintas manchas de vegetación. A partir de las cartografías, se ha calculado la diversidad de comunidades, que se ha relacionado con la superficie del lago (fig. 3). La diversidad no aumenta con el área del lago; de hecho, algunos de los lagos más pequeños tienen una elevada diversidad de manchas de vegetación sumergida. Por otro lado, el máximo de diversidad se encuentra en el lago de mayor tamaño (Llebreta), sin que esto se pueda interpretarse como una relación causal puesto que otros factores (i.e. es el lago situado a menor altitud; Tabla 1) interaccionan con el área. Tampoco está relacionada el área del lago con la riqueza de especies de macrófitos: algunos de los lagos más pequeños (por ejemplo, el Estany Xic) tienen una riqueza elevada (7 especies, frente a un máximo de 9 en el Estany Llebreta). Es importante destacar que los sistemas estudiados son realmente pequeños y nos encontramos por tanto en un

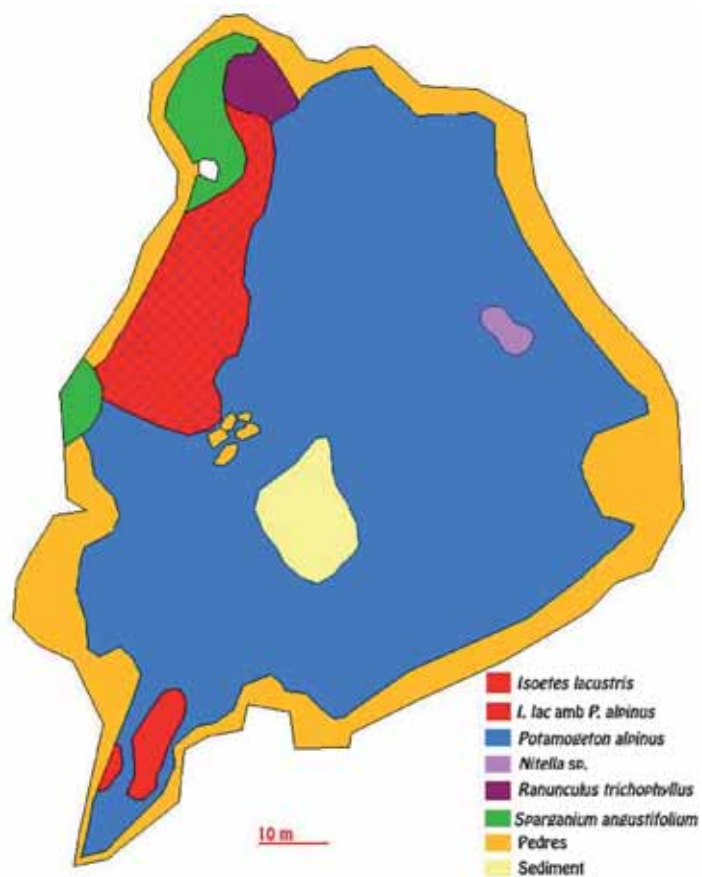
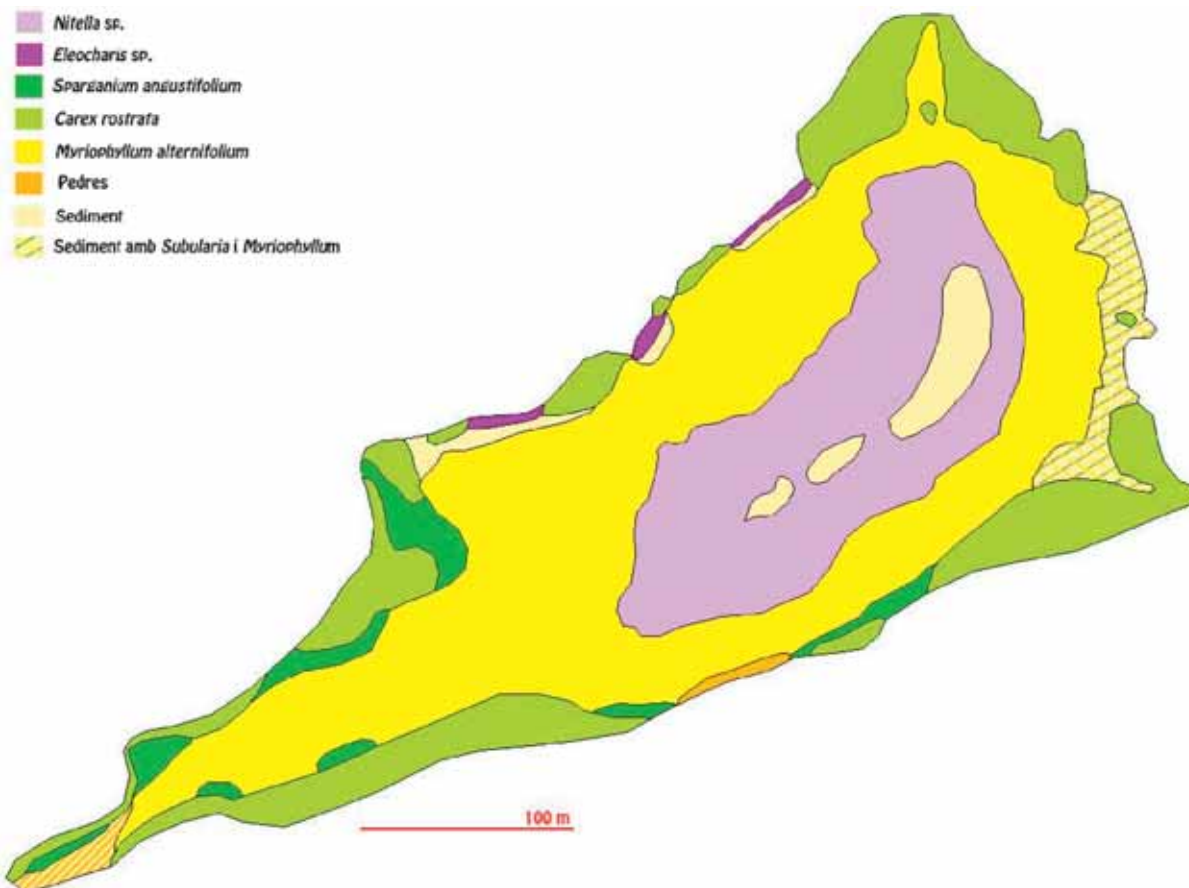


Figura 2. Cartografías de macrófitos para los lagos a) Xic (Valle de Cavallers) y b) Llebretra (Valle de Sant Nicolau).

Figure 2. Macrophyte cartographies for a) Lake Xic (Cavallers Valley) and b) Lake Llebretra (Sant Nicolau Valley).



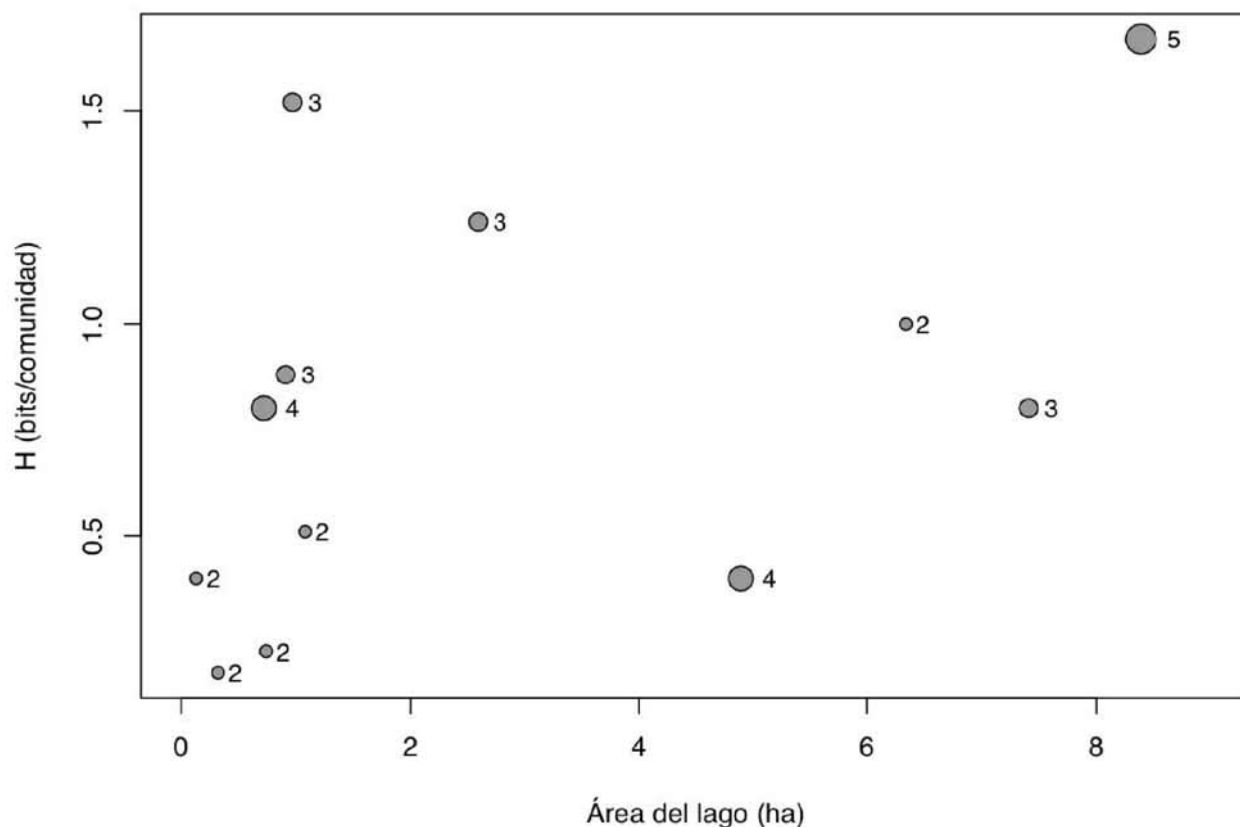


Figura 3. Heterogeneidad del paisaje de vegetación sumergida (expresada como la diversidad de Shannon en función de la proporción de área ocupada por cada comunidad) de los lagos estudiados. El diámetro de los símbolos es proporcional al número de comunidades de cada lago (ver número adjunto).

Figure 3. Heterogeneity of the submersed vegetation landscape of each of the studied lakes, expressed as the Shannon diversity based on the proportional surface area occupied by each community. The area of the symbols is proportional to the number of communities in each lake (number adjacent to symbols).

extremo de condiciones que dificultaría encontrar patrones ecológicos generales como la relación área diversidad (JONES *et al.* 2003) descrita para lagos del Norte de Europa y Canadá (MURPHY 2002; KALFF 2002)

Interacción entre la vegetación y el sistema

La interacción entre la vegetación sumergida y su entorno se ha abordado mediante el análisis comparado de las características biogeoquímicas del sedimento y de la columna de agua en las distintas manchas de vegetación. Se ha observado que existen diferencias en el potencial de óxido reducción del sedimento en función de la composición específica de las comunidades (GACIA *et al.* 2009), como se puede esperar de las diferentes porosidades a nivel de raíces de las distintas especies de vegetación acuática (JUSTIN & AMSTRONG 1987;

AMSTRONG *et al.* 1991). En particular, las manchas dominadas por isoétidos tienen sedimentos con potenciales de óxido-reducción positivos. Para los lagos estudiados, se puede predecir el potencial de óxido reducción del sedimento de una comunidad de vegetación a partir del cociente entre la biomasa acuática y subterránea (Fig. 4), lo que a su vez permite inferir la composición en nutrientes disueltos del sedimento y la disponibilidad de nitrógeno en la columna (Fig. 5; GACIA *et al.* 2009).

Impactos de las actividades humanas sobre la vegetación

Las estimas de la presión ganadera sobre los lagos del PN indican que en los lagos estudiados se ha producido un ligero aumento de cabezas/ha. día entre 1995 y 2005 para ganado equino, bovino y ovino. En el 2005 el ganado bovino presenta un au-

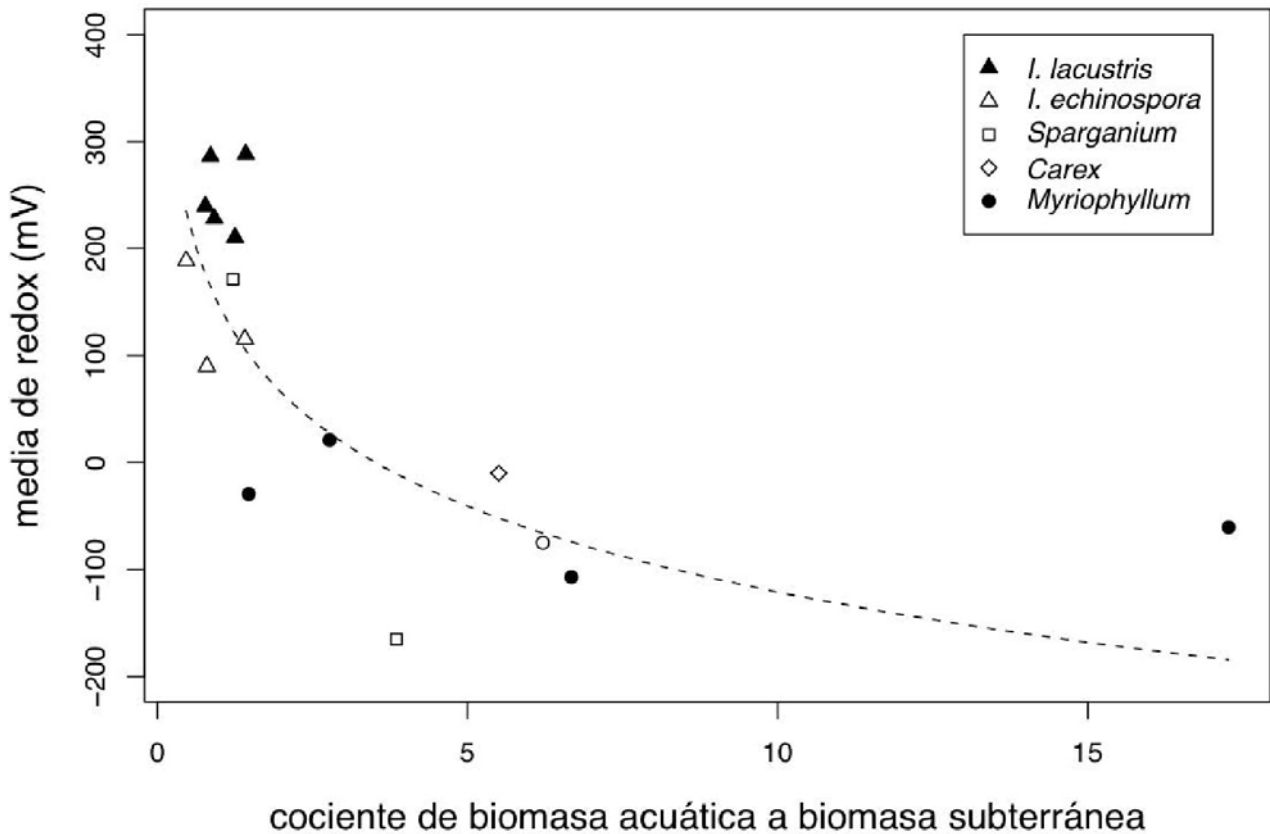


Figura 4. Relación entre la media del potencial de óxido-reducción del sedimento (Xredox) y el cociente entre la biomasa acuática (Bmaq) y la subterránea (BMsub) para las distintas comunidades de vegetación muestreadas. La función estimada es: $X_{redox} = 116.5 \ln(B_{maq}/B_{Msub}) + 164.6$

Figure 4. Average sediment redox potential (Xredox) vs. the aquatic (Bmaq) to underground (BMsub) macrophyte biomass ratio for the different sampled communities. The estimated function is $X_{redox} = 116.5 \ln(B_{maq}/B_{Msub}) + 164.6$.

mento mayor. El porcentaje de la cuenca pastado es muy variable, desde cuencas prácticamente sin ganado como Trescuro de Dalt, hasta cuencas ampliamente pastadas como la Bassa de les Granotes, el Xic y el Pudo. La carga de ganado en cada cuenca es muy heterogénea (UGM/año); Trescuro de Dalt, Bassa Dellui, Dellui Petit y la Bassa de les Granotes presentan una baja carga. Pudo, Redó, Xic y Llong presentan una carga mediana y el Lago Llebretra tiene una carga mucho más elevada que el resto. En el conjunto de lagos estudiados la concentración de nitrato en la columna de agua está relacionada con la carga ganadera ($R = 0,66$, $p < 0,05$, $n = 9$; variables transformadas con logaritmo), pero también, aunque más débilmente, con el área de la cuenca ($R = 0,51$, $p < 0,05$, $n = 9$). No obstante, el análisis de los cambios de macrófitos entre 1994 (GACIA *et al.* 1994) y 2005 (este estudio; ver

Tabla 2) sugieren que el uso ganadero no modifica sustancialmente la vegetación de macrófitos de los lagos. Esto no quiere decir que no se observen pequeños cambios, pero estos no se dan en una dirección concreta y serían difíciles de separar de las propias fluctuaciones naturales de las especies.

El seguimiento de la recuperación de la vegetación acuática en el lago Baciver 16 años después de construcción de una presa a partir de la comparación de cartografías, ha mostrado una respuesta distinta según las comunidades de vegetación. Mientras *Sparganium angustifolium* se está recuperando y progresa en los litorales poco profundos del sistema (Tabla 3), la especie *Isoetes lacustris* sigue en regresión, quedando solamente unos pocos pies aislados que recubren menos del 1% del área ocupada anteriormente por esta co-

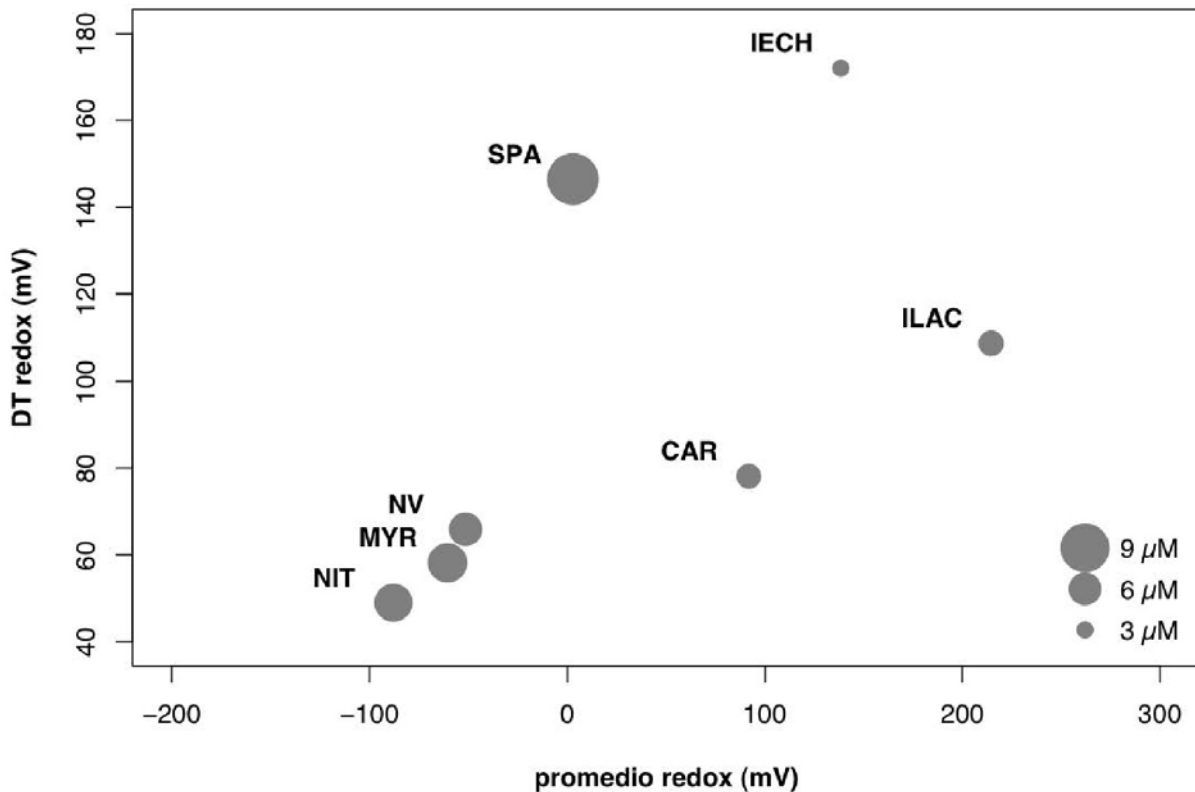


Figura 5. Concentración de nitrato en la columna de agua representada como el área proporcional de los símbolos en un gráfico de la media respecto a desviación típica del potencial de oxidación-reducción del sedimento para las distintas comunidades de vegetación de los lagos estudiados. Los códigos para las comunidades son: Ilac= *Isoetes lacustris*, Iechi= *Isoetes echinospora*, Spa= *Sparganium angustifolium*, Car= *Carex rostrata*, Myr= *Myriophyllum alternifolium*, Nit= *Nitella*, NV= Sin vegetación.

Figure 5. Nitrate concentration in lake water (proportional to symbol area), on a plot of the average vs. standard deviation of the sediment redox for the different macrophyte communities in the studied lakes. Codes for the communities are: Ilac= *Isoetes lacustris*, Iechi= *Isoetes echinospora*, Spa= *Sparganium angustifolium*, Car= *Carex rostrata*, Myr= *Myriophyllum alternifolium*, Nit= *Nitella*, NV= Sin vegetación.

comunidad (Tabla 3). También aparece el alga *Nitella* sp. en la cubeta central del lago marcando la zona de sedimento inestable (GACIA & BALLESTEROS 1993). Los experimentos de reducción de la luz y de fertilización por materia orgánica confirmaron que la materia orgánica produce mortalidad de haces en *I. lacustris* (LUMBRERAS *et al.* enviado) y podría explicar el fuerte impacto de la construcción de la presa e inundación de la cuenca sobre esta comunidad en 1992 (GACIA & BALLESTEROS 1996; 1998).

Modelo integrado para predecir la composición de las comunidades de vegetación litoral de los lagos del parque

Hemos elaborado un modelo conceptual jerárquico de las relaciones entre las características de la

vegetación sumergida de los lagos del PN y las características físicas a distintos niveles, desde el paisaje hasta el sedimento en una mancha de vegetación (figura 6). Las asociaciones de especies que se encuentran en un lago concreto dependen en primera instancia de las características de la cuenca y la posición de los lagos en el paisaje. La variable que mejor resume estas influencias es la altitud, que refleja los efectos de: (1) los cambios climáticos asociados, que imponen restricciones sobre la fenología de las especies, y 2) el tamaño y composición de la cuenca (incluida la composición de vegetación terrestre), que influye sobre la composición química del agua. En un segundo nivel, las características del vaso están influidas por la posición del lago en el paisaje (por ejemplo, lago de circo frente a lago de fondo de valle), y afecta

| Species | RB | LG | LL | XC | TR | PU | DP | BD | GR |
|-----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <i>Sparganium angustifolium</i> | Dark Grey | Dark Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey |
| <i>Isoetes echinospora</i> | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Dark Grey | Light Grey | Light Grey |
| <i>Isoetes lacustris</i> | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey |
| <i>Subularia aquatica</i> | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey |
| <i>Ranunculus aquatilis</i> | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey |
| <i>Myriophyllum alternifolium</i> | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey |
| <i>Potamogeton alpinus</i> | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey |
| <i>Potamogeton berchtoldii</i> | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey |
| <i>Calitriche palustris</i> | Light Grey | Light Grey | Dark Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey |
| <i>Ranunculus trichophyllus</i> | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Dark Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey |
| <i>Potamogeton praelongus</i> | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey |
| <i>Potamogeton perfoliatus</i> | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey |
| <i>Juncus bulbosus</i> | Dark Grey | Dark Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey |
| <i>Nitella</i> | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Dark Grey | Dark Grey | Dark Grey | Light Grey | Light Grey |
| <i>Carex rostrata</i> | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey |
| <i>Juncus articulatus</i> | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey | Light Grey |

Tabla 2. Cambios en la flora de nueve lagos Pirenaicos por comparación de inventarios del año 1987 con inventarios del 2005. En gris claro se indican las especies presentes en ambos inventarios, en gris oscuro se indican las especies presentes en el 1987 y ausentes en el 2005, y el código de trama de barras es para especies ausentes en el 1987 y presentes en el 2005. ** Indica cambio no relevante debido a particularidades o ubicuidad de la especie. Identificadores de lago (ver Tabla 1).

Table 2. Changes in the macrophyte flora of nine Pyrenean lakes after comparison of 1987 and 2005 inventories. Cells filled in light grey are for species present in both inventories. Cells filled in dark grey are for species present in 1987 and absent in 2005, and cells with lined pattern are for species not present in 1987 and present in 2005. ** Is for a non-relevant change due to peculiarities or ubiquity of the species. Lakes ID (see Table 1).

| Comunidades | Antes de represar 1989 | | Después de represar 1992 | | 2006 | |
|--|---------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | área inicial (%) | m ⁻² | % área inicial | m ⁻² | % área inicial | m ⁻² |
| <i>Isoetes lacust</i> | 50,4 | 13.421 | 14,4 | 3.823 | 0,5 | 134 |
| Mixta de <i>Sparganium angustifolium</i> | 5,6 | 1.491 | 1,0 | 254 | 3,1 | 820 |
| <i>Nitella</i> sp.* | 29,7 | 7.909 | 29,7 | 7.908 | 29,7 | 7.908 |
| Area sin vegetación (sedimento+rocas) | 14,3 | 3.808 | 143,9 | 38.317 | 152,1 | 40.499 |
| Área total | | 26.629 | | 50.301 | | 50.301 |

Tabla 3. Evolución de las comunidades de vegetación acuática del lago Baciver. Se indica el porcentaje de recubrimiento de la vegetación después de la inundación respecto del máximo (100%) antes de la perturbación (año 1989; ver Ballesteros et al. 1990). Datos de recubrimiento del 1992, un año después de la inundación, y actuales (2006). * No tenemos cartografiados los límites de la comunidad de *Nitella* sp. Sin embargo, esta especie de alga no enraizada puede ocupar el área original de la cubeta central del lago y extenderse hacia zonas de sedimento inestable actualmente desprovistas de vegetación.

Table 3. Changes in surface area of the different underwater macrophyte communities in lake Baciver before (1989) and after (1992 and 2006) dam construction. Percentages are relative to the maximum before the impact (see Ballesteros et al. 1990). * We do not have the limits for the *Nitella* community after the impact but this non-rooted alga appears to occupy the original central basin of the lake and extends towards areas with unstable lake sediment without vegetation.

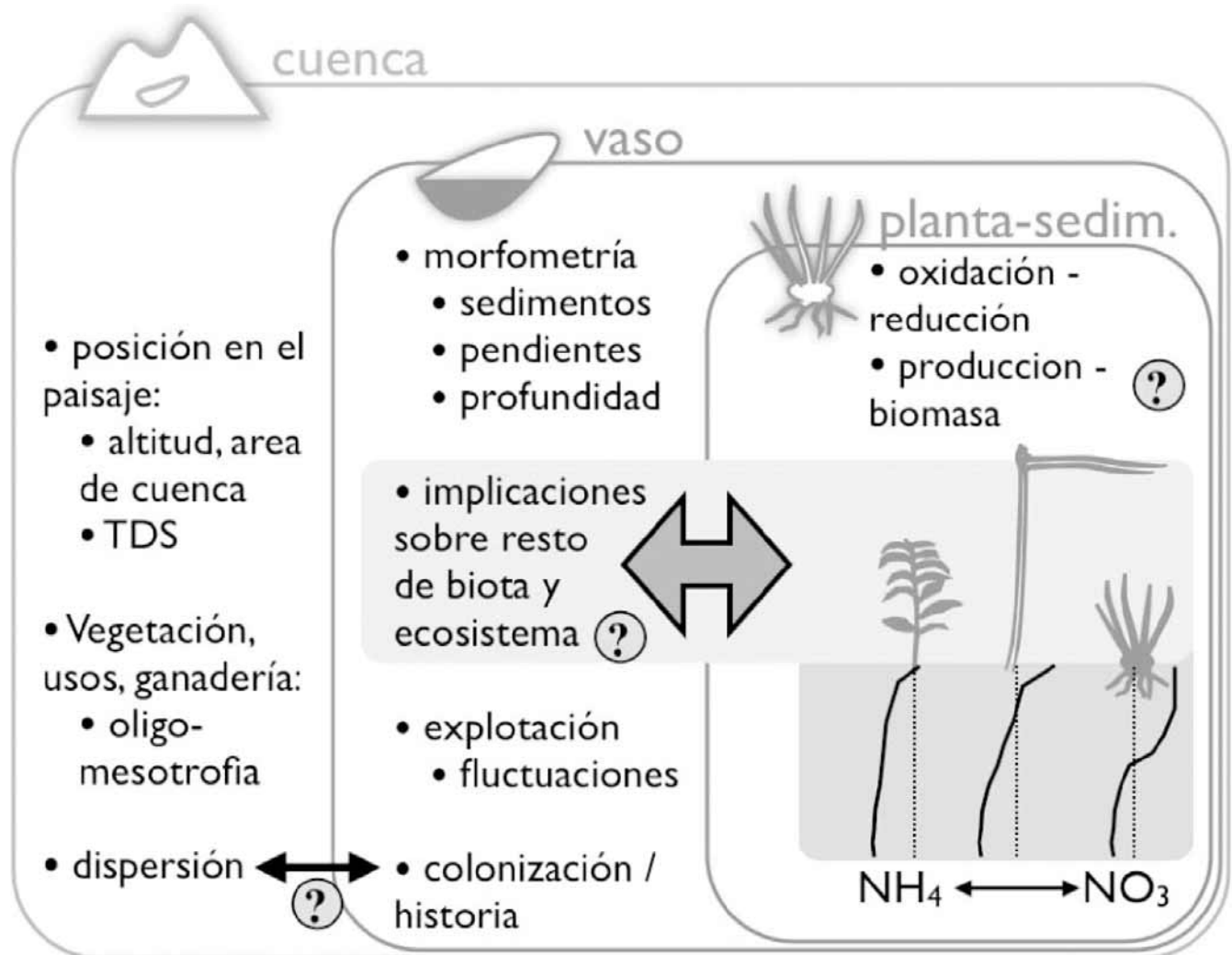


Figura 6. Modelo conceptual jerárquico de las relaciones entre las comunidades de macrófitos, la cuenca, el vaso y el sedimento, donde se señalan los aspectos que requieren mayor investigación.

Figure 6. Conceptual hierarchical model describing the relations among lake macrophyte communities, lake basin and lake sediment, indicating the aspects that require further research.

directamente a las comunidades de macrófitos en función de su morfometría (tamaño, complejidad de forma, pendientes) y textura del sedimento. De las influencias directas de las características del vaso y las de la cuenca, resulta el número y tipo de "unidades de vegetación" en cada lago, que dependerá también, de manera poco conocida, de la dispersión de cada especie y de factores históricos (p.ej., qué especie llegó primero). Por último, cada asociación de macrófitos interacciona con el sedimento de manera característica, dependiendo sobre todo de su mayor o menor capacidad para mantener oxidada la capa superficial del sedimento. Nuestro estudio indica que estas interac-

ciones pueden tener importancia como modificadoras de las transferencias de nutrientes entre agua y sedimento. Cómo interactúan las comunidades de macrófitos sobre otros aspectos de la biología (por ejemplo, como refugio) o los ciclos biogeoquímicos (por ejemplo, a través de una eventual liberación de nutrientes de la biomasa al final del periodo vegetativo anual) del lago es un campo todavía abierto a la investigación, sobre todo con relación a los impactos de las actividades que pueden alterar a las comunidades de macrófitos (fluctuaciones del nivel del agua, mesotrofización), y las posibilidades de restauración ambiental de lagos con comunidades de macrófitos empobrecidas.

Aplicación de los resultados obtenidos a la conservación y gestión del Parque Nacional o los parques nacionales afectados

Resultados del proyecto han dado lugar a una base de datos SIG que se ha proporcionado a los gestores del PN. En ella se incluyen los mapas de vegetación sumergida de los lagos estudiados, las cuencas hidrográficas de dichos lagos, así como fotos e inventarios de las distintas comunidades de cada lago. También es posible consultar otras capas que se han utilizado en el proyecto como mapas topográficos, ortofotografías, usos del suelo, cobertura vegetal y carga por ganadería.

Este material permite conocer con detalle la vegetación sumergida de 8 lagos emblemáticos del Parque y tres de la zona pre-parque, y permite localizar, proteger y estudiar especies o comunidades acuáticas. Además de su valor documental y de conocimiento del patrimonio natural para la gestión del parque, los datos obtenidos y recopi-

lados pueden servir de base para futuros estudios de detalle y para el seguimiento de cambios en las comunidades sumergidas a causa de cambios locales en la gestión, o de cambios regionales y globales. Así, los cambios en la flora registrados durante los últimos 18 años, ponen de manifiesto la necesidad de un seguimiento a largo plazo de estas series de datos para poder valorar si las fluctuaciones observadas se van consolidando con el tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación del Organismo Autónomo Parques Nacionales a través del proyecto 118/2003. Agradecemos a Jonatan Ortíz su ayuda durante el trabajo de campo y a Lluís Camarero, Maddi Altuna y Montse Barcadit su colaboración ante las dudas del procesado al laboratorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMSTRONG, W., JUSTIN, S.H.F.H., BECKETT, P.M. & HE, S. 1991. Root adaptation to soil waterlogging. *Aquatic Botany* 39: 57-73.
- CARRILLO, E. & NINOT, J. 1992. Flora i vegetació de les valls d'Espot i de Boí (vol. 1). *Arxius Secc. Cienc. IEC*, 474 pp.
- GACIA, E. & BALLESTEROS, E. 1993. Population and individual variability of *Isoetes lacustris* L. with depth in a Pyrenean lake. *Aquatic Botany* 46: 35-47.
- GACIA, E. & BALLESTEROS, E. 1994. Production of *Isoetes lacustris* in a Pyrenean lake: seasonality and ecological factors involved in the growing period. *Aquatic Botany* 48: 77-89.
- GACIA, E., BALLESTEROS, E., CAMARERO, LL., DELGADO, O., PALAU, A., RIERA, J.L. & CATALAN, J. 1994. Macrophytes from the Easter Pyrenean lakes: composition and ordination in relation to environmental factors. *Freshwater Biology* 32: 73-81
- GACIA, E. & BALLESTEROS, E. 1996. The effect of increased water level on *Isoetes lacustris* L. in lake Baciver, Spain. *Journal of Aquatic Plant Management* 34: 57-59.
- GACIA, E. & BALLESTEROS, E. 1998. Effects of building up a dam in a shallow mountain lake (Baciver, Central Pyrenees). *Oecologia Aquatica* 11: 55-66.
- GACIA E., CHAPPUIS, E. M., LUMBRERAS, A., RIERA, J.L. & BALLESTEROS, E. 2009. Functional diversity of macrophyte communities within and between Pyrenean Lakes. *Journal of Limnology* 68(1): 25-36.
- JONES, C.G., LAWTON, J.H. & SHACHAK, M. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69: 373-386.
- JONES, J.I., LI, W. & MABERLI, S.C. 2003. Area, altitude and aquatic plant diversity. *Ecography* 26: 411-420.
- JUSTIN, S.H.F.H. & AMSTRONG, W. 1987. The anatomical characteristics of roots and plant response to soil flooding. *New Phytologist* 106: 465-495.
- KALFF, J. 2002. *Limnology: Inland water ecosystems*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002. XII, 592 p.

GACIA, E. Y COLS. «Vegetación sumergida en lagos del P. N. Aigüestortes y Estany de Sant Maurici»

MARGALEF MIR, R. 1981. Distribución de los macrófitos de las aguas dulces y salobres del E y NE de España y dependencia de la composición química del medio. *Fundación Joan March Series Universidad*. 157, 1-62.

MURPHY, K.J. 2002. Plant communities and plant diversity in softwater lakes of northern Europe. *Aquatic Botany* 73(4): 287-324.

OLSEN K.R. & ANDERSEN, F.Ø. 1994. Nutrient cycling in a shallow, oligotrophic Lake Kvie, Denmark. *Hydrobiologia* 275/276: 255-265.

SMOLDERS, A.J.P., LUCASSEN, E.C.H.E.T. & ROELOFS, J.G.M. 2002. The isoetid environment: biogeochemistry and threats. *Aquatic Botany* 73: 325-350.

TRAGSEGA. *Plan de manejo y revisión de la carga ganadera del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici* [recurso electrónico]: *memoria de actividades*. [Madrid]: autor, 2006. Estudio inédito.