



LUCAS MALLADA

16

REVISTA DE CIENCIAS

**LUCAS  
MALLADA**

# LUCAS MALLADA

REVISTA DE CIENCIAS

16

---

HUESCA, 2014



**INSTITUTO DE ESTUDIOS  
ALTOARAGONESES**

Diputación de Huesca

# LUCAS MALLADA

REVISTA DE CIENCIAS

**INSTITUTO DE ESTUDIOS ALTOARAGONESES**

(DIPUTACIÓN DE HUESCA)

---

**Director:** José Antonio CUCHÍ OTERINO

**Consejo de redacción:** Antonio ALCUBIERRE GARCÍA, Pedro ARNAL ATARÉS, Joaquín ASCASO MARTORELL, David BADÍA VILLAS, Raimundo BAMBÓ MOMPRADÉ, Ánchel BELMONTE RIBAS, José Antonio BLECUA ELBOJ, Pilar BOLEA CATALÁN, Miguel CABEZÓN CUÉLLAR, José Ignacio CANUDO SANAGUSTÍN, José CASANOVA GASCÓN, Cristóbal CASTÁN PUEYO, Pilar CATALÁN RODRÍGUEZ, Ángel CRESPO YAGÜE, Belén DIEZMA IGLESIAS, Santiago FÁBREGAS REYGOSA, Francisco Javier GARCÍA RAMOS, José GÓMEZ PORTER, Penélope GONZÁLEZ SAMPÉRIZ, Luis Ángel INDA ARAMENDÍA, Jesús INSAUSTI LÓPEZ, Juan Manuel LANTERO NAVARRO, Emilio LEO FERRANDO, Rocío LÓPEZ FLORES, José M.<sup>a</sup> MAÑAS PASCUAL, Clara MARTÍ DALMAU, Jesús MONREAL PUEYO, Luis Enrique MONTANO GELLA, Antonio NAVAL MAS, José María NICOLAU IBARRA, César PEDROCCHI RENAULT, M.<sup>a</sup> Luisa PELEATO SÁNCHEZ, Mariano RAMÓN GIL, Enrique SÁEZ OLIVITO, Jaime SALAS CASTELLANO, José Miguel SANZ LAHOZ, Leopoldo SERENA PUIG, Alfredo SERRETA OLIVÁN, Luis VILLAR PÉREZ y José Luis VILLARROEL SALCEDO

**Secretaria:** Pilar ALCALDE ARÁNTEGUI

**Corrector:** Isidoro GRACIA CERDÁN

**Coordinación editorial:** Teresa SAS BERNAD

---

**Diseño de la portada:** Vicente BADENES

---

## **Redacción y administración**

Instituto de Estudios Altoaragoneses

Parque, 10

E-22002 HUESCA

Tel. 974 294 120

Fax 974 294 122

[www.iea.es](http://www.iea.es) / [lucasmallada@iea.es](mailto:lucasmallada@iea.es)

ISSN: 0214-8315

**Depósito legal:** HU-76/2014

**Imprime:** Gráficas Alós. Huesca

## ÍNDICE

### PRESENTACIÓN

Sobre la temática para publicar en <i>Lucas Mallada</i> , por José Antonio CUCHÍ .....	9
--	---

### PREFACIO

La vuelta de los grandes, por Juan HERRERO .....	13
--	----

### ARTÍCULOS

Dinosaurios y tetrápodos asociados del Maastrichtiense superior (Cretácico superior) de la provincia de Huesca, por José Ignacio CANUDO .....	17
Reducción del impacto ambiental en la edificación mediante la selección consciente de materiales de construcción: el caso de una vivienda unifamiliar construida en tierra (técnica de la tapia) en el Prepirineo aragonés, por Àngels CASTELLARNAU .....	35
Tipificación de patrones espacio-temporales y en relación con las crecidas de $\text{NO}_3^-$ , sólidos en suspensión y sales disueltas en la cuenca del río Flumen (Huesca), por Nadia DARWICHE-CRIADO y Francisco A. COMÍN .....	53
Genética de las poblaciones ibéricas de trufa negra ( <i>Tuber melanosporum</i> ), por Iván GARCÍA-CUNCHILLOS, Sergio SÁNCHEZ, Juan José BARRIUSO y Ernesto PÉREZ-COLLAZOS .....	77
Rocas silíceas de la margen izquierda del valle medio del Ebro, por Luis Miguel GARCÍA-SIMÓN y Juan MANDADO .....	89
Fracasos en la reproducción del quebrantahuesos ( <i>Gypaetus barbatus</i> ), por predación, en el Pirineo central (Aragón), por Juan Antonio GIL y Gonzalo CHÉLIZ	119
Un antiguo escorial en Ballibierna (Benasque, Huesca), por José Antonio MANSO y José Antonio CUCHÍ .....	125

Estado trófico y calidad ecológica del río Gállego a su paso por la provincia de Huesca, por Marta MICHAVILA, Rocío LÓPEZ-FLORES y José Antonio CUCHÍ ...	135
Reacciones agua-roca en la cuenca alta de los ríos Isuela y Flumen (Huesca), por Domingo MONAJ, José Luis VILLARROEL, José Antonio MANSO y José Antonio CUCHÍ .....	169
Estudio estacional de la calidad ecológica del río Cinca (Huesca) según sus comunidades de macroinvertebrados bentónicos, por Beatriz ORÓS, Rocío LÓPEZ-FLORES y José Antonio CUCHÍ .....	199
El Campo Fenero: las disputas seculares por un pequeño monte del término municipal de Biel (Zaragoza), por Ignacio PÉREZ-SOBA .....	243
Tierra Bucho (Huesca): aproximación al análisis microespacial de sus yacimientos prehistóricos, por Pilar SÁNCHEZ .....	285

# PRESENTACIÓN





## SOBRE LA TEMÁTICA PARA PUBLICAR EN *LUCAS MALLADA*

En el número 15 aparecían unas líneas explicando razones para publicar en *Lucas Mallada*, revista del Instituto de Estudios Altoaragoneses que ha pasado a publicarse en formato electrónico por economía y modernidad.

Como parte del actual debate sobre el papel de la ciencia y la investigación en nuestra sociedad, el que subscribe ha tenido un cierto *feedback*, tradúzcase como varios *capazos* en lenguaje más cercano, preguntando sobre qué temáticas pueden ser de interés para los lectores de la revista.

Evidentemente, esta publicación debiera asumir un amplio espectro temático, siguiendo el espíritu del sabio del que ha tomado nombre. Es innegable el interés por el estudio de la naturaleza altoaragonesa, en cualquiera de sus vertientes de biología y geología. A pesar de lo ya realizado, queda mucho por hacer en ambas disciplinas en el Alto Aragón. A modo de ejemplo, es triste que todavía no sea posible acceder a buena parte de la cartografía geológica provincial, a escala 1:50 000, en contraste con lo que sucede en casi todo el resto del país. Como es bueno ir poniendo ejemplos, la idea es ir invitando a investigadores que presenten sus puntos de vista. Así, en este número, el doctor Juan Herrero realiza un prefacio sobre el, añado yo, impresionante retorno de los grandes mamíferos al ámbito altoaragonés.

Pero hay también temáticas de interés sobre la gestión de nuestros recursos dado que se detecta cierto vacío sobre nuestro conocimiento, tópicos o chascarrillos aparte, de las actuaciones que desde mediados del siglo XIX han modelado el desarrollo de la provincia. Cabe citar de modo no exhaustivo las grandes obras públicas como los regadíos, los ferrocarriles, las carreteras, las centrales hidroeléctricas, la construcción de embalses o la gestión forestal.

Como es evidente la necesidad de apostar por el futuro, la revista también está abierta a presentar temas de innovación tecnológica en cualquier ámbito de este territorio. En números anteriores se han presentado algunos ejemplos.

No por citarse en último lugar es menos importante recordar el trabajo de quienes desarrollaron su actividad científica en esta tierra, siguiendo los pasos de Lucas Mallada, como fueron Severino Bello, Rafael Ayerbe Castillo o Carlos Pau, que de bien nacidos es ser agradecidos. Habría que realizar un esfuerzo para sacar a más de uno de un olvido inmerecido.

Evidentemente, queda mucho por hacer dentro del continuo trabajo de construir día a día esta comunidad que llamamos Alto Aragón. La revista *Lucas Mallada* aspira a aportar su grano al montón común.

José Antonio CUCHÍ<sup>1</sup>  
Director de la revista *Lucas Mallada*

---

<sup>1</sup> Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. [cuchi@unizar.es](mailto:cuchi@unizar.es)

## **PREFACIO**



## LA VUELTA DE LOS GRANDES

Vivimos años de profundos cambios en la naturaleza, el paisaje y la biodiversidad de la provincia de Huesca. La imparable pérdida de especies que afecta a la Tierra se produce al mismo tiempo que en algunas zonas la naturaleza se recupera de forma espontánea o con la ayuda del hombre. Un caso bastante espectacular lo constituye, sin duda, el enorme incremento que han tenido los ungulados silvestres en nuestro territorio.

Hace apenas cincuenta años, a principios de los años sesenta del siglo pasado, el jabalí comenzaba tímidamente su expansión desde sus reductos pirenaicos. Poco a poco fue ocupando la tierra baja y en los años setenta ya había colonizado la totalidad de la provincia.

El segundo en aumentar fue el corzo. Pasó de ser muy escaso y localizado en pequeñas áreas de los valles pirenaicos a una ocupación actual que, igual que en el caso anterior, afecta ya a toda la provincia de Huesca desde finales de la primera década de este siglo. No había más que un pequeño reducto histórico de ciervo en la zona sur. Este núcleo fue aumentando paulatinamente a partir de los años setenta, década en la que diversas reintroducciones en la Reserva de Caza de La Garcipollera, en la Jacetania y en los montes de Agüero produjeron una lenta ocupación parcheada de gran parte del Pirineo y Prepirineo oscenses.

Aparte de la presencia testimonial de gamos y muflones, procedentes de escasos cotos intensivos cercados, la última expansión es debida a la cabra montesa. Su presencia desde un escape no intencionado en Guara ocupa poco a poco el Prepirineo, y las sueltas en el Pirineo francés han permitido que algunos ejemplares se acerquen por la vertiente sur.

Para finalizar, Huesca alberga probablemente la principal población de cabra doméstica asilvestrada de Europa continental, una situación nueva que, sin duda, debería ser tomada seriamente en cuenta por los responsables de la gestión de los recursos naturales de la provincia.

Todo esto no es más que una instantánea de un proceso que continúa, lo que los ecólogos denominamos *sucesión ecológica* y que nos retrotrae en gran medida a situaciones previas a la ocupación y transformación humana del territorio, hace miles de años. La naturaleza se recupera y evoluciona hacia tiempos pretéritos, pero seguimos siendo la especie clave que determina la presencia o extinción de multitud de especies.

El oso pardo se recupera en el Pirineo gracias a la reintroducción de ejemplares e irá siendo cada vez más importante en el territorio oscense, el lobo ha hecho su aparición y, quién sabe si de forma natural o no, el lince boreal podría estar presente en un futuro no muy lejano.

El tiempo lo dirá, pero todo parece indicar que la recuperación de los ungulados y los grandes carnívoros es imparable y buena parte de la responsabilidad es debida a nuestros cambios de hábitos y de actitud ante los mismos.

Juan HERRERO<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. herreroj@unizar.es

## ARTÍCULOS





## DINOSAURIOS Y TETRÁPODOS ASOCIADOS DEL MAASTRICHTIENSE SUPERIOR (CRETÁCICO SUPERIOR) DE LA PROVINCIA DE HUESCA

José Ignacio CANUDO<sup>1</sup>

RESUMEN.— El Maastrichtiense continental del noreste de Huesca contiene una rica y diversa fauna de tetrápodos continentales que ha sido investigada por la Universidad de Zaragoza en los últimos años. Su importancia radica en que son los yacimientos más modernos de Europa con dinosaurios, además documentan la paleobiodiversidad de los tetrápodos en los últimos miles de años del Cretácico en esta parte del mundo, poco antes de la extinción del Cretácico-Paleógeno. Es destacable que se han descrito dos nuevos dinosaurios hadrosaurios (*Arenysaurus ardevoli* y *Blasisaurus canudoi*), dos nuevos Crocodylia (*Arenysuchus gascabadiolorum* y *Allodaposuchus subjunctiperus*), además de una diversa fauna de dinosaurios terópodos y uno de los registros de saurópodos más moderno del mundo. El Pirineo de Huesca es uno de los lugares clave a nivel mundial para estudiar la extinción de los dinosaurios.

ABSTRACT.— The continental Maastrichtian of the northeast of Huesca contains a rich and diverse continental tetrapod fauna which has been studied by the University of Zaragoza over the last few years. Its importance resides in having sites with the most modern dinosaurs in Europe, as well as documenting the tetrapod palaeobiodiversity of the region in the last few thousand years of the Cretaceous, just prior to the Cretaceous-Tertiary extinction event. It is particularly noteworthy that two new hadrosaur dinosaurs (*Arenysaurus ardevoli* and *Blasisaurus canudoi*) and two new Crocodylia

---

<sup>1</sup> Grupo Aragosaurus – IUCA. Área de Paleontología. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, 12. E-50009 ZARAGOZA. jicanudo@unizar.es

(*Arenysuchus gascabadiolorum* and *Allodaposuchus subjuniperus*) have been described from the area, as well as a diverse fauna of theropod dinosaurs and one of the most modern records of sauropods in the world. The Pyrenees of Huesca are one of the areas of key importance worldwide for studying the extinction of the dinosaurs.

KEY WORDS.— Fossil vertebrate, K/T extinction, Maastrichtian, Province of Huesca (Spain).

## INTRODUCCIÓN

Los primeros restos de dinosaurios de la vertiente española de los Pirineos fueron descubiertos en la década de los cincuenta en la cuenca de Tremp (Lérida), cerca de la localidad de Orcau (Isona). Este fue solo el principio. A lo largo de las siguientes décadas esta cuenca se ha convertido en una de las áreas más importantes para la investigación de los dinosaurios del final del Cretácico de Europa. Una historia detallada de estos descubrimientos puede consultarse en GALOBART y cols. (2006). Los yacimientos de huesos, huevos e icnitas del Pirineo leridano se encuentran en las formaciones Arén y Tremp. Estas mismas formaciones afloran en el noroeste de la provincia de Huesca en continuidad con los afloramientos leridanos, sin embargo, en Aragón hasta mediados de la década de los noventa no se encontraron los primeros fósiles de dinosaurios. El geólogo Lluís Ardèvol, haciendo la cartografía geológica en los alrededores de Arén (Huesca), fue el primero que localizó fósiles de dinosaurios en los yacimientos que ahora conocemos como *Blasi*. Junto con Nieves López Martínez, profesora de la Universidad Complutense de Madrid, se pusieron en contacto con José Ignacio Canudo y Gloria Cuenca Bescós, profesores de la Universidad de Zaragoza, para informar del descubrimiento. En ese momento, comenzaron una serie de actuaciones lideradas por el actual Grupo Aragosaurus – IUCA que ha permitido desarrollar una línea de investigación en la provincia de Huesca de importancia mundial.

La extinción de los dinosaurios y todos los acontecimientos sucedidos alrededor de este evento en los ecosistemas terrestres es uno de los temas más fascinantes en la investigación moderna. Sin embargo, hay pocos lugares en el mundo con afloramientos de fósiles de dinosaurios

de finales del Cretácico, es decir, poco antes de su extinción. Uno de esos lugares donde encontramos el registro geológico prácticamente continuo en facies continentales durante el tránsito del Cretácico al Paleógeno son los Pirineos oscenses (CANUDO y CUENCA-BESCÓS, 2004; OMS y CANUDO, 2004; PEREDA-SUBERBIOLA y cols., 2009; VILA y cols., 2013). En los sedimentos del Maastrichtiense superior se ha encontrado una insospechada paleobiodiversidad de dinosaurios algunos de los cuales son nuevos, así *Arenysaurus* y *Blasisaurus*, como se desarrollará posteriormente.

La investigación sobre dinosaurios tiene un gran impacto mediático fuera de los canales de difusión habituales de las revistas científicas. Los nuevos descubrimientos suelen ser portada en medios generalistas y en los portales de Internet más importantes. Este interés se suele traducir en la creación de infraestructuras museísticas que permiten rentabilizar los descubrimientos científicos sobre el terreno. Un buen ejemplo son los dinosaurios de Huesca, desconocidos hasta hace unos años, pero que en la actualidad son la base de uno de los proyectos más interesantes de difusión del patrimonio paleontológico en la comunidad aragonesa. La gran trascendencia mediática que tuvieron los primeros descubrimientos de dinosaurios en Arén impulsó una serie de actuaciones de puesta en valor de los yacimientos (CANUDO y cols., 2005b) y del Museo de los Últimos Dinosaurios de Europa (fig. 1; CANUDO, 2012). Junto con otras iniciativas desarrolladas en el Pirineo catalán y en el francés (MARMI, 2006), los Pirineos orientales podrían considerarse como un gran espacio museístico sobre los vertebrados del final del Cretácico, especialmente dinosaurios (GALOBART LORENTE, 2010).

La investigación científica es la base para obtener la información necesaria que favorezca el desarrollo de este gran espacio museístico, en general, y en la provincia de Huesca, en particular. Teniendo en cuenta que gran parte de los resultados han sido publicados en revistas internacionales con difusión restringida, parece necesario resumir el estado en que se encuentran las investigaciones. Por esta razón, el objetivo de este artículo es poner al día los conocimientos sobre los dinosaurios y la fauna asociada de tetrápodos del Maastrichtiense de Huesca, así como recopilar el listado de los artículos científicos publicados hasta el momento.



**Fig. 1.** Museo de los Últimos Dinosaurios de Europa (Arén).

## SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA

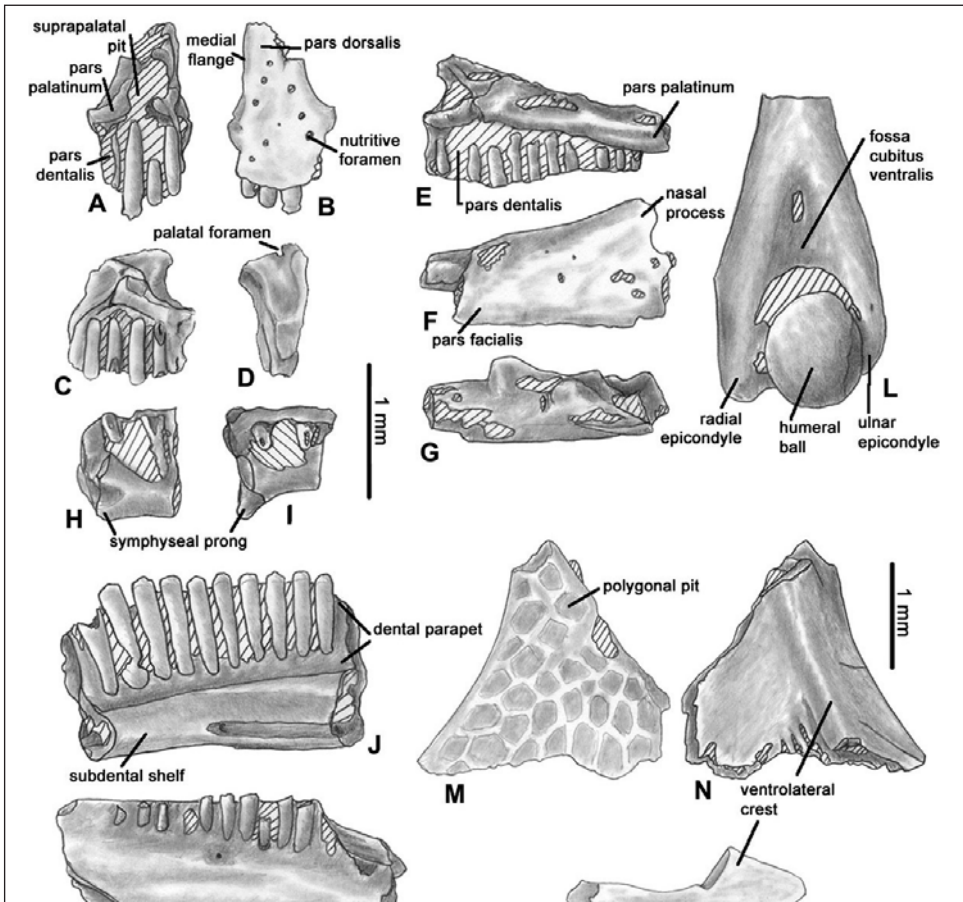
Los trabajos iniciales de investigación sobre los dinosaurios de Huesca se centraron en los yacimientos de Blasi en el término municipal de Arén (LÓPEZ-MARTÍNEZ y cols., 2001). En los últimos años se han realizado nuevos descubrimientos en los entornos de Serraduy y Beranuy (CRUZADO-CABALLERO y cols., 2012; PUÉRTOLAS y cols., 2012*b*; VILA y cols., 2013). En los términos municipales de estas localidades oscenses situadas en el noroeste de la provincia, surge una estrecha franja de afloramientos de la formación Arén y Tresp en los que se han encontrado los fósiles de tetrápodos del Maastrichtiense. Recientes prospecciones han permitido descubrir algunos restos fragmentarios de dinosaurios en los afloramientos de la formación Tresp en la sierra de Guara y en su continuación al oeste. Son evidencias que abren la posibilidad de encontrar nuevas zonas con restos fósiles de tetrápodos maastrichtienses en la provincia de Huesca.

El continente europeo al final del Maastrichtiense estaba invadido por mares poco profundos que separaban grandes islas. Una de las mayores era la que ocupaba gran parte del sur de Francia y la península ibérica. Se la conoce como el *macizo iberoarmoricano*. Esta peculiar disposición paleobiogeográfica ha hecho que las faunas continentales europeas de esta edad tengan un origen complejo, pues se han mezclado faunas endémicas con posibles migrantes de otras partes de Europa, África y Norteamérica (PUÉRTOLAS y cols., 2011; CRUZADO-CABALLERO y cols., 2013). El Pirineo central formaba parte de la costa atlántica de esta isla, con el desarrollo de facies costeras y continentales cercanas a la costa que suelen agruparse en las formaciones Arén y Tresp, en el Pirineo aragonés y el leridano. La formación Tresp presenta una amplia variación de base a techo, por lo que algunos autores la han considerado como Grupo Tresp y lo han dividido en diferentes formaciones. Las dos más bajas (Posa y Conques) son las que presentan los yacimientos con dinosaurios en los Pirineos. La mayoría de los yacimientos oscenses se han encontrado en la parte baja de la formación Tresp (equivalentes a las formaciones Posa y Conques), y únicamente uno (Blasi 1) está localizado en el techo de la formación Arén. La edad de todo este conjunto es Maastrichtiense superior (OMS y CANUDO, 2004; PEREDA-SUBERBIOLA y cols., 2009*b*; VILA y cols., 2013); no se han encontrado tetrápodos en el Campaniense superior y Maastrichtiense inferior de Huesca, a diferencia del Pirineo catalán, donde se encuentra registro de esa edad.

## LOS TETRÁPODOS DEL MAASTRICHTIENSE SUPERIOR DE HUESCA

*Amphibia*

Los anfibios del Maastrichtiense de la provincia de Huesca provienen únicamente del yacimiento Blasi 2 en Arén. Los restos de anfibios son todos de pequeño tamaño, recuperados con el proceso de lavado-tamizado de varias toneladas de sedimento (LÓPEZ-MARTÍNEZ y cols., 2001). El estudio de este material ha permitido diferenciar un albanerpetontido descrito como *Albanerpeton* aff. *nexuosum* (fig. 2) y dos anuros diferentes, un discoglósido



**Fig. 2.** Diferentes restos craneales y poscraneales del albanerpetontido *Albanerpeton* aff. *nexuosum* procedente del yacimiento Blasi 2, Maastrichtiense superior de Arén (BLAIN y cols., 2010).

(aff. *Paradiscoglossus* sp.) y un paleobatrácido (BLAIN y cols., 2010). Se trata de una asociación típica laurasiática, sin elementos gondwánicos como sucede en yacimientos del Campaniense-Maastrichtiense de otras partes de los Pirineos (BLAIN y cols., 2010).

### *Quelonia*

Las placas aisladas de quelonios son relativamente frecuentes en la parte inferior de la formación Tremp en el Pirineo oscense. Hay representados dos quelonios de pequeño-mediano tamaño, uno es un taxón indeterminado de Bothremydidae (muy abundante) y el otro es también un taxón indeterminado, en este caso de Solemydidae descrito únicamente en Blasi 2 (MURELAGA y CANUDO, 2005). El material es demasiado fragmentario para clasificar a nivel genérico a los taxones que pertenecen.

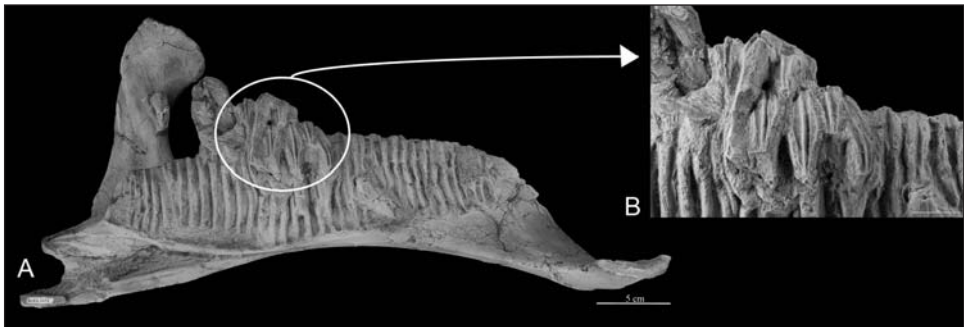
### *Squamata*

Los restos de escamosos del Maastrichtiense superior de la provincia de Huesca son de pequeño tamaño; como los anfibios, provienen del lavado-tamizado del yacimiento Blasi 2. Se han encontrado restos de tres lagartos distintos, uno de los cuales sería un ánguideo y además una vértebra de una serpiente indeterminada (BLAIN y cols., 2010). El material es demasiado fragmentario para poder precisar, pero como en los anfibios no se han detectado elementos gondwánicos.

### *Hadrosauria*

Los fósiles de tetrápodos más abundantes en el Maastrichtiense de Huesca son los de dinosaurios hadrosaurios. Se trata de un grupo de ornitópodos típicos en el Cretácico superior de Laurasia, pero que hasta el comienzo de la primera década de nuestro siglo no se habían descrito en el Pirineo oscense (LÓPEZ-MARTÍNEZ y cols., 2001). Estos restos fósiles provienen de los yacimientos Blasi 1 y 3. Una de las novedades que depuró la investigación es el reconocimiento de lambeosaurinos (CRUZADO-CABALLERO y cols., 2005) y una biodiversidad inusitada de hadrosáuridos (PEREDA-SUBERBIOLA y cols., 2009a). La buena conservación del material

y las claras diferencias morfológicas con los taxones conocidos de hadrosaurios en Europa han permitido describir dos nuevos taxones. En Blasi 3 se han recuperado elementos de prácticamente todas las partes del cuerpo de un lambeosaurino descrito como *Arenysaurus ardevoli* (fig. 3). Su nombre hace referencia a la localidad donde se ha encontrado (Arén) y al descubridor de los yacimientos (Lluís Ardèvol). Entre el material recuperado se encuentra la mayor parte del cráneo, excepto los nasales (PEREDA-SUBERBIOLA y cols., 2009b). Este hueso es especialmente importante en los lambeosaurinos, ya que suele estar modificado llegando a formar vistosas estructuras. Desconocemos cómo sería el de *Arenysaurus*, pero tendría esta estructura sobresaliendo del cráneo más o menos desarrollada. El segundo taxón descrito es *Blasisaurus canudo* en el yacimiento Blasi 1 (formación Arén), es decir, un poco más antiguo que *Arenysaurus* (CRUZADO-CABALLERO y cols., 2010a). Además, se ha descrito material de un hadrosaurino (CRUZADO-CABALLERO y cols., 2010b) en Blasi 5 y una mandíbula aislada diferente de las de *Blasisaurus* y *Arenysaurus* (CRUZADO-CABALLERO y cols., 2014). Esta biodiversidad extraordinaria de hadrosaurios al final del Maastrichtiense en el Pirineo de Huesca ha sido señalada en varios trabajos (PEREDA-SUBERBIOLA y cols., 2009b; CRUZADO-CABALLERO, 2012), a la que habría que sumar otros taxones descritos al final del Cretácico en otras partes del Pirineo (DALLA-VECHIA, 2009; PRIETO-MÁRQUEZ y cols., 2013). Los estudios paleobiogeográficos indican que los lambeosaurinos oscenses son faunas emigrantes de Asia que llegaron a las islas europeas en el tránsito Maastrichtiense inferior-superior.



**Fig. 3.** Dentario del dinosaurio hadrosaurio *Arenysaurus ardevoli* procedente del yacimiento Blasi 3, Maastrichtiense superior de Arén (PEREDA-SUBERBIOLA y cols., 2009b). Se observan los detalles de los dientes ligeramente desplazados de sus posiciones originales.





**Fig. 4.** Icnita de *Hadrosauropodus*, que se conserva como contramolde en la base de un estrato de areniscas (VILA y cols., 2013). Yacimiento de Isclés, Maastrichtiense superior de Arén.

La formación Tresp es significativamente rica en icnitas de hadrosaurios en la provincia de Huesca, así como en el resto del Prepirineo español (VILA y cols., 2013). En los últimos 300 000 años del Cretácico son extremadamente abundantes en los niveles de areniscas fluviales (fig. 4). En la mayoría de los casos se conservan como contramoldes en donde se puede observar con gran detalle la disposición de los dedos de estos dinosaurios (VILA y cols., 2013). En la provincia de Huesca solo hay un yacimiento donde se conservan las huellas reales (BARCO y cols., 2001). Este yacimiento puede ser visitado cerca del núcleo urbano de Arén. La excelente conservación de algunas icnitas, como las recuperadas en Serraduy y en Isclés (Arén), ha permitido incluirlas en el icnogénero *Hadrosauropodus*, de manera similar a otras de Asia y Norteamérica (VILA y cols., 2013).

### *Sauropoda*

Los saurópodos son dinosaurios saurisquios cuadrúpedos caracterizados por poseer un largo cuello y una larga cola. Entre ellos se encuentran los mayores animales terrestres encontrados en el registro fósil. Los saurópodos son relativamente frecuentes en el Campaniense-Maastrichtiense inferior de los Pirineos, pero muy escasos en el Maastrichtiense superior (VILA y cols., 2012). De hecho, durante un tiempo se consideró que se extinguían en el tránsito Maastrichtiense inferior-superior. Los fósiles de saurópodos encontrados en Huesca son escasos, pero de gran interés científico. Uno de ellos es un fragmento proximal de un fémur de gran tamaño recuperado cerca de Serraduy (CANUDO, 2001). Su descubrimiento documentó la presencia de este grupo hasta el final del Cretácico; así, VILA y cols. (2012) lo sitúan unos pocos miles de años antes del límite y representa el registro más moderno en Europa de Sauropoda. Se ha asignado a un titanosaurio indeterminado (CANUDO, 2001; VILA y cols., 2012). Recientemente PUÉRTOLAS-PASCUAL y cols. (2012*b*) citan la presencia de una vértebra caudal de Sauropoda en el yacimiento Barranco Serraduy 4 que por el momento se encuentra sin estudiar. Son niveles estratigráficamente cercanos al nivel donde se encontró el fémur.

Las cáscaras de huevo y huevos completos de saurópodo son muy abundantes en la formación Arén y Tremp en el Pirineo catalán, sin embargo, están ausentes por el momento en el Pirineo aragonés. Se han citado cáscaras de huevo asignadas a aff. Megaloolithidae en el yacimiento de Blasi 2 (LÓPEZ-MARTÍNEZ y cols., 1999; LÓPEZ-MARTÍNEZ, 2003). La oofamilia Megaloolithidae ha sido relacionada con los saurópodos titanosaurios. Sin embargo, un trabajo reciente (MORENO-AZANZA y cols., 2014) reestudia estas cáscaras y concluye que su estructura es la de un crocodilomorfo, descartando por el momento la presencia de cáscaras de huevo de saurópodo en este yacimiento.

### *Theropoda*

Los dinosaurios carnívoros se agrupan en el orden Theropoda. Hasta el momento su registro en el Maastrichtiense de la provincia de Huesca es escaso y fragmentario, compuesto exclusivamente por dientes aislados

(LÓPEZ-MARTÍNEZ y cols., 2001; TORICES y cols., 2004; TORICES HERNÁNDEZ, 2007; TORICES y cols. [en prensa]). También se han reconocido evidencias de su actividad depredadora registrada sobre huesos de hadrosaurios (CANUDO y cols., 2005a), incluyendo un raro ejemplo en el registro fósil de interacción entre depredador-presa, interpretada como una estrategia de caza de los terópodos similar a la que hacen los grandes lagartos como *Varanus komodoensis* (CANUDO, 2004; CANUDO y cols., 2005c).

Los dientes de terópodos son de los restos fósiles más abundantes de estos dinosaurios. La principal razón es que estos animales tenían un reemplazamiento dental a lo largo de su vida. Cada diente desprendido por el uso era reemplazado por otro. Esto hace que un solo terópodo pueda aportar gran cantidad de dientes al registro fósil. La presencia conjunta de carcasas de dinosaurios fitófagos y dientes de terópodos está bien documentada en el registro fósil con numerosos ejemplos, uno de ellos es con la carcasa del hadrosaurio *Arenysaurus* y prueba que fue carroñeada por varios terópodos distintos (CANUDO y cols., 2005a).

Los dientes de terópodos nos dan una importante aportación para conocer la paleobiodiversidad. Se han recuperado una veintena de dientes de terópodos del Maastrichtiense de la provincia de Huesca. Estos provienen exclusivamente de tres yacimientos (Blasi 1, 2 y 3). La mayoría de los dientes de Blasi 2 son de pequeño tamaño y se recuperaron por el método del tamizado-levigado (LÓPEZ-MARTÍNEZ y cols., 2001). Los de mayor tamaño se han recogido en prospecciones superficiales o durante las campañas de excavación. Los dientes de terópodos suelen ser bastante plesiomórficos, manteniendo los caracteres primitivos para los dinosaurios como puede ser el aplastamiento latero-medial o la presencia de carenas en sus bordes mesial y distal. A pesar de esto, en los últimos años se ha hecho un gran esfuerzo en describir caracteres que permiten identificar con dientes aislados los principales clados de terópodos. Esto tiene gran interés, ya que permite esbozar la paleobiodiversidad de los terópodos en una formación a pesar de carecer de otros restos anatómicos como sucede en el Maastrichtiense de Huesca.

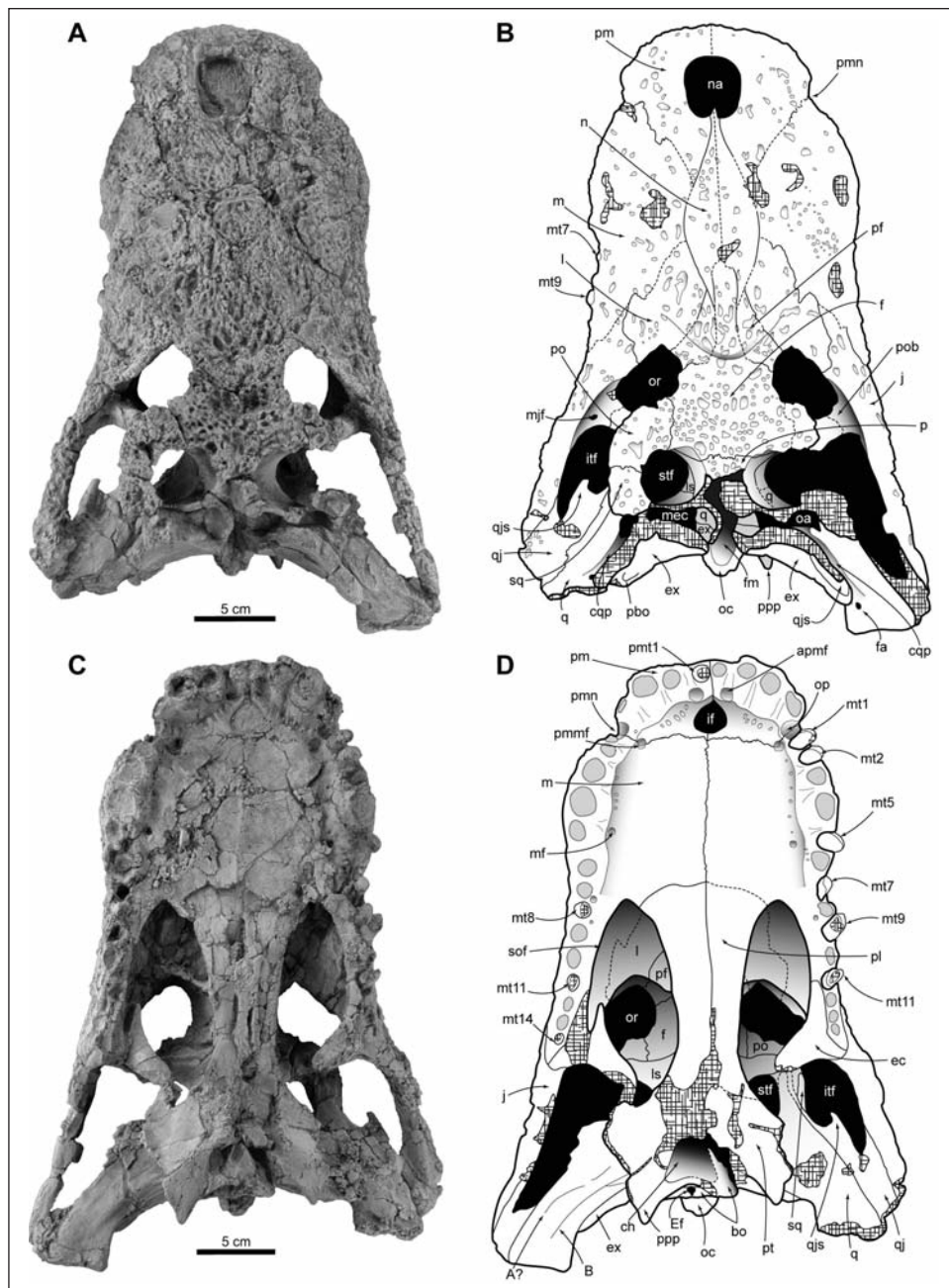
Están representados entre cuatro y ocho taxones de terópodos a partir de sus dientes: Neoceratosauria indet., Maniraptoriformes indet. (cf. *Richardoestesia* de TORICES y cols. [en prensa]), Dromaeosauridae indet. y cf. *Euronychodon* sp. (TORICES y cols., 2004; CANUDO y cols., 2005). La presencia de

un terópodo de tamaño medio-grande está bien documentada por unos dientes aquí incluidos en Neoceratosauria indet. Sin embargo, su posición sistemática es dudosa. Son dientes con carenas mesial y distal y sin caracteres diagnósticos. Hasta hace unos años, únicamente se conocía a los neoceratosaurios como los únicos terópodos con dientes tan plesiomórficos representados al final del Cretácico. Sin embargo, se ha documentado la presencia de un clado de tetanuros basales (Neovenatoridae) que podrían tener dientes similares. Por esta razón, en algunas clasificaciones se prefiere usar una nomenclatura más abierta (Theropoda indet.) para este morfotipo o morfotipos presentes en otras partes del Pirineo (TORICES y cols. [en prensa]).

El resto de terópodos son de pequeño tamaño y representan taxones de celurosaurios derivados de difícil clasificación genérica en el material del Pirineo debido a la escasez de restos más o menos completos en el Maastrichtiense del macizo iberoarmoricano. Por esta razón, se ha tendido a usar nombres genéricos en nomenclatura abierta de taxones norteamericanos donde sí hay un buen registro osteológico. Los dientes asignados a Dromaeosauridae presentan cinco morfologías diferentes (morfotipos A-E), por lo que en el caso de ser taxones diferentes darían un número máximo de ocho taxones distintos. Sin embargo, no hay que descartar que algunos de estos morfotipos pudieran formar parte del mismo taxón y nos está expresando una heterodoncia. En este sentido, TORICES y cols. [en prensa] identifican dos taxones con esta morfología y los asignan a *cf. dromaeosáuridos* y *cf. Pyroraptor olympus*.

### *Crocodylomorpha*

El registro fósil de los crocodylomorfos en el Cretácico superior es especialmente interesante, porque tiene taxones que podrían estar involucrados en la primera radiación de Crocodylia, el clado que incluye a los representantes actuales (Crocodyloidea, Alligatoidea y Gabiloidea). Los primeros restos descritos en el Maastrichtiense de Huesca provienen de los yacimientos Blasi 1-3 (LÓPEZ-MARTÍNEZ y cols., 2001). Estos autores a partir de dientes aislados y material poscraneal identificaron la presencia de eusuchios clasificados como Trematochampsidae indet., *Acynodon* y Alligatoridae. Posteriormente, se han encontrado dos cráneos en los yacimientos de Elias (Arén) y Amor 3 (Beranuy) que han aportado una novedosa



**Fig. 5.** Cráneo del Alligatoroidea *Allodaposuchus subjuniperus* del Maastrichtiense superior del yacimiento Amor 3 en Beranuy (PUÉRTOLAS-PASCUAL y cols., 2014).

información. En Elías se ha descrito *Arenysuchus gascabadiolorum*, que podría ser el representante de Crocodyloidea más antiguo de Eurasia y abre la posibilidad de que sean los primeros pasos en la evolución de este clado en Europa (PUÉRTOLAS y cols., 2011), aunque también podría formar parte de un grupo de Alligatorioidea. Por otra parte, recientemente se acaba de describir *Allodaposuchus subjuniperus* en unos niveles prácticamente coincidentes con el límite Cretácico-Paleógeno (fig. 5; PUÉRTOLAS-PASCUAL y cols., 2012a, 2014). *Allodaposuchus* es un género de Alligatorioidea exclusivo del final del Cretácico en Europa (Rumanía, Francia y España). El taxón oscense es el más moderno del registro fósil y demuestra que es un grupo que llegó hasta el límite Cretácico-Paleógeno y posiblemente fue uno de los taxones que se extinguieron en ese momento.

En el yacimiento Blasi 2 se han descrito las únicas cáscaras de huevo de crocódilomorfo del Maastrichtiense superior de España. Se trata de un material demasiado fragmentario para describir un nuevo taxón. Presentan tres capas estructurales, de manera similar a la de las cáscaras de taxones actuales, como son las de *Crocodylus porosus* o *Crocodylus niloticus*, lo que las diferencia de las de Megaloolithidae inicialmente asignadas (MORENO-AZANZA y cols., 2014).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La investigación del Grupo Aragosaurus – IUCA, en colaboración con otras instituciones españolas (Institut Català de Paleontologia, Universidad del País Vasco, IPHES de Tarragona, Universidad Autónoma de Barcelona, Universidad Complutense de Madrid), ha permitido descubrir una paleobiodiversidad de tetrápodos del Maastrichtiense superior de Huesca totalmente desconocida en el siglo pasado. Los yacimientos oscenses, junto con los del Pirineo catalán, conforman una unidad que va a ser de gran importancia en la investigación de la extinción de los dinosaurios en el límite Cretácico-Paleógeno.

La asociación de tetrápodos del Maastrichtiense superior de los Pirineos oscenses está compuesta por anfibios, lacértidos, quelonios, crocódilomorfos, hadrosaurios, terópodos (incluyendo aves) y saurópodos. En cuanto a los arcosaurios, hay representación tanto de huesos como de cáscaras de huevo

e icnitas. Es destacable la ausencia de mamíferos y pterosaurios. En el caso de los pterosaurios podría ser un sesgo tafonómico; sin embargo, en cuanto a los mamíferos, sería un sesgo paleoecológico, ya que estos tetrápodos no se han descrito por el momento en el Maastrichtiense superior del Pirineo. Al menos hay representados diecisiete taxones diferentes de tetrápodos. Este número es aproximado, ya que la biodiversidad de los terópodos resulta imprecisa a partir de dientes aislados. En los sedimentos de la base del Terciario de Huesca no se conoce ningún resto fósil de tetrápodo. Esta ausencia no parece poder asignarse a un sesgo tafonómico; ya que no hay un cambio paleoambiental en las facies del final del Cretácico y del comienzo del Terciario. La investigación debe continuar, pero en el estado del conocimiento actual parece que la diversa y abundante fauna de tetrápodos del Maastrichtiense superior en los Pirineos se extinguió de manera brusca cerca o coincidente con el límite entre el Cretácico y el Paleógeno.

#### AGRADECIMIENTOS

Las actuaciones en Arén han contado con la ayuda inestimable de sus gentes, que personalizamos en los agradecimientos a su Ayuntamiento. Los trabajos en el Pirineo aragonés han recibido ayudas de la Dirección General de Patrimonio Cultural del Gobierno de Aragón y del Proyecto Grupos Consolidados. Forma parte del plan de divulgación incluido en el convenio mixto Universidad de Zaragoza – Comarca de Ribagorza.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARCO, J. L., L. ARDÈVOL y J. I. CANUDO (2001). Descripción de los primeros rastros asignados a Hadrosauridae (Ornithopoda, Dinosauria) del Maastrichtiense de la Península Ibérica (Areny, Huesca). *Geogaceta*, 3: 235-238.
- BLAIN, H. A., J. I. CANUDO, G. CUENCA-BESCÓS y N. LÓPEZ-MARTÍNEZ (2010). Amphibians and squamates from the latest Maastrichtian (Upper Cretaceous) of Blasi 2 (Huesca, Spain). *Cretaceous Research*, 31: 433-446.
- CANUDO, J. I. (2001). Descripción de un fragmento proximal de fémur de Titanosauridae (Dinosauria, Sauropoda) del Maastrichtiense superior de Serraduy (Huesca). En *Actas de las XVII Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología. Los fósiles y la paleogeografía (Albarracín, 2001)*. Albarracín, 1: 255-262.

- CANUDO, J. I. (2004). El caso del dinosaurio hadrosaurio de Arén (Huesca): ¿muerte accidental o asesinato? *Naturaleza Aragonesa*, 13: 4-14.
- CANUDO, J. I. (2012). Research on fossil vertebrates and its application as cultural tourism in Aragón (Spain). *Virtual Archeology Review*, 3 (5): 28-32.
- CANUDO, J. I., X. PEREDA-SUBERBIOLA y N. LÓPEZ-MARTÍNEZ (2000). Los dinosaurios del Maastrichtiense superior de Huesca y su importancia en el estudio de la extinción del límite Cretácico / Terciario. *Geo-Temas*, 1 (2): 339-342.
- CANUDO, J. I., y G. CUENCA-BESCÓS (2004). La extinción de los dinosaurios: lo que puede aportar el registro paleontológico español. En *Libro Homenaje a Emiliano Aguirre*: 119-127. Museo Arqueológico. Alcalá de Henares.
- CANUDO, J. I., J. L. BARCO, P. CRUZADO-CABALLERO, G. CUENCA-BESCÓS, J. I. RUIZ-OMEÑACA y R. ROYO-TORRES (2005a). Evidencias de predación de dinosaurios terópodos en el Maastrichtiense superior, Cretácico superior de Arén (Huesca). *Lucas Mallada*, 12: 29-58.
- CANUDO, J. I., J. L. BARCO, G. CUENCA-BESCÓS, J. I. RUIZ-OMEÑACA y P. CRUZADO, (2005b). *Guía de los yacimientos de Arén*. Prames-Diputación General de Aragón, Departamento de Educación Cultura y Deportes. Zaragoza. 35 pp.
- CANUDO, J. I., P. CRUZADO-CABALLERO y M. MORENO-AZANZA (2005c). Possible theropod predation evidence in hadrosaurid dinosaurs from the Upper Maastrichtian (Upper Cretaceous) of Arén (Huesca, Spain). *Kaupia. Darmstädter Beiträge zur Naturgeschichte*, 14: 9-13.
- CRUZADO-CABALLERO, P. (2012). *Restos directos de dinosaurios hadrosáuridos (Ornithopoda, Hadrosauridae) del Maastrichtiense superior (Cretácico superior) de Arén (Huesca)*. Tesis doctoral presentada en la Universidad de Zaragoza. 403 pp.
- CRUZADO-CABALLERO, P., J. I. CANUDO y J. I. RUIZ-OMEÑACA (2005). Nuevas evidencias de la presencia de hadrosaurios lambeosaurinos (Dinosauria) en el Maastrichtiense superior de la Península Ibérica (Arén, Huesca). *Geogaceta*, 38: 47-50.
- CRUZADO-CABALLERO, P., J. I. RUIZ-OMEÑACA y J. I. CANUDO (2010a). Evidencias de la coexistencia de hadrosaurinos y lambeosaurinos en el Maastrichtiano superior de la Península Ibérica (Arén, Huesca, España). *Ameghiniana*, 47 (2): 153-164.
- CRUZADO-CABALLERO, P., X. PEREDA-SUBERBIOLA y J. I. RUIZ-OMEÑACA (2010b). *Blasisaurus canudo* gen. et sp. nov., a new lambeosaurine dinosaur (Hadrosauridae) from the latest Cretaceous of Arén (Huesca, Spain). *Canadian Journal of Earth Sciences*, 47 (12): 1507-1517.
- CRUZADO-CABALLERO, P., E. PUÉRTOLAS-PASCUAL, J. I. CANUDO, D. CASTANERA, J. M. GASCA y M. MORENO-AZANZA (2012). New hadrosaur remains from the Late Maastrichtian of Huesca (NE Spain). *Fundamental*, 20: 45-48.
- CRUZADO-CABALLERO, P., J. I. CANUDO, M. MORENO-AZANZA y J. I. RUIZ-OMEÑACA (2013). New material and phylogenetical position of *Arenysaurus ardevoli*, a lambeosaurine dinosaur from the Late Maastrichtian of Arén (northern Spain). *Journal of Vertebrate Paleontology*, 33 (6): 1376-1384.



- CRUZADO-CABALLERO, P., J. I. RUIZ-OMEÑACA, R. GAETE, V. RIERA, O. OMS y J. I. CANUDO (2014). A new hadrosaurid dentary from the latest Maastrichtian of the Pyrenees (North of Spain) and the high diversity of the duck-billed dinosaurs of the Ibero-Armorican Realm at the very end of the Cretaceous. *Historical Biology*, 26 (5): 619-630.
- DALLA-VECCHIA, F. M. (2009). European hadrosauroids. En CAS (eds.), *Actas de las IV Jornadas Internacionales sobre Paleontología de Dinosaurios y su entorno*: 45-74. Colectivo Arqueológico y Paleontológico de Salas. Salas de los Infantes.
- GALOBART LORENTE, À. (2010). El Prepirineo concebido como museo paleontológico. En J. A. Gámez Vintaned (ed.), *XI Jornadas Aragonesas de Paleontología "La Paleontología en los museos"*. Homenaje al profesor Eladio Liñán Guijarro: 95-109. IFC. Zaragoza.
- GALOBART, À., J. LE LOEUFF y J. I. CANUDO (2006). Història de les troballes de dinosaure als Pirineus. En B. Vila y J. Marmi (eds.), *Els dinosaures dels Pirineus*: 26-37. Zenobita Edicions. Barcelona.
- LÓPEZ-MARTÍNEZ, N. (2000). Eggshell sites from the Cretaceous-Tertiary transition in South-Central Pyrenees (Spain). En A. M.<sup>a</sup> Bravo y T. Reyes (eds.), *First International symposium on Dinosaur eggs and babies. Extended abstracts*: 95-115. Isona i Conca Dellà.
- LÓPEZ-MARTÍNEZ, N. (2003). Dating dinosaur oodiversity: Chronostratigraphic control of Late Cretaceous oospecies succession. *Palaeovertebrata*, 32 (2-4): 120-148.
- LÓPEZ-MARTÍNEZ, N., J. I. CANUDO y G. CUENCA (1999). Latest Cretaceous eggshells from Arén (southern Pyrenees, Spain). En *First international symposium on Dinosaur eggs and babies (Isona i Conca Dellà)*: 35-36. Isona i Conca Dellà.
- LÓPEZ-MARTÍNEZ, N., J. I. CANUDO, L. ARDÈVOL, X. PEREDA-SUBERBIOLA, X. ORUE-ETXEBARRÍA, G. CUENCA-BESCÓS, J. I. RUIZ-OMEÑACA, X. MURELAGA y M. FEIST (2001). New dinosaur sites correlated with Upper Maastrichtian pelagic deposits in the Spanish Pyrenees: Implications for the dinosaur extinction pattern in Europe. *Cretaceous Research*, 22: 41-61.
- MARMI, J. (2006). Museums, entitats i centres de recerca relacionats amb l'estudi i la divulgació dels dinosaures dels Pirineus. En B. Vila y J. Marmi (eds.), *Els dinosaures dels Pirineus*: 110-118. Zenobita Edicions. Barcelona.
- MORENO-AZANZA, M., B. BAULUZ, J. I. CANUDO, E. PUÉRTOLAS-PASCUAL y A. G. SELLÉS (2014). A re-evaluation of aff. *Megaloolithidae* eggshell fragments from the uppermost Cretaceous of the Pyrenees and implications for crocodylomorph eggshell structure. *Historical Biology*, 26 (2): 195-205.
- MURELAGA, X., y J. I. CANUDO (2005). Descripción de los restos de quelonios del Maastrichtiense superior de Arén y Serraduy (Huesca). *Geogaceta*, 38: 51-54.
- OMS, O., y J. I. CANUDO (2004). Datación magnetoestratigráfica de los dinosaurios del Cretácico terminal (Maastrichtiense superior) de Arén (Huesca, Unidad Surpirenaica Central). *Geo-Temas*, 6 (5): 51-54.

- PEREDA-SUBERBIOLA, X., J. I. CANUDO, J. COMPANY, P. CRUZADO-CABALLERO y J. I. RUIZ-OMEÑACA (2009a). Hadrosaurids from the latest Cretaceous of the Iberian Peninsula: new interpretations. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 29 (3): 946-951.
- PEREDA-SUBERBIOLA, X., J. I. CANUDO, P. CRUZADO-CABALLERO, J. L. BARCO, N. LÓPEZ-MARTÍNEZ y J. I. RUIZ-OMEÑACA (2009b). The last hadrosaurid dinosaurs of Europe: a new lambeosaurine from the uppermost Cretaceous of Arén (Huesca, Spain). *Comptes Rendus Palevol*, 8: 559-572.
- PRIETO-MÁRQUEZ, A., F. M. DALLA-VECCHIA, R. GAETE y À. GALOBART (2013). Diversity, relationships, and biogeography of the Lambeosaurine dinosaurs from the European Archipelago, with description of the new Aralosaurin *Canardia garonnensis*. *Plos One*, 8 (7): e69835.
- PUÉRTOLAS-PASCUAL, E., J. I. CANUDO y P. CRUZADO-CABALLERO (2011). A new Crocodylian from the Late Maastrichtian of Spain: Implications for the initial radiation of Crocodyloids. *Plos One*, 6 (6): e20011.
- PUÉRTOLAS-PASCUAL, E., P. CRUZADO-CABALLERO, J. I. CANUDO, M. MORENO-AZANZA, J. M. GASCA, D. CASTANERA y J. PARRILLA (2012a). A new specimen of *Allodaposuchus* sp. (Eusuchia) from the Late Maastrichtian of Spain (Serraduy, Huesca). *Fundamental*, 20: 199-202.
- PUÉRTOLAS-PASCUAL, E., P. CRUZADO-CABALLERO, J. I. CANUDO, J. M. GASCA, M. MORENO-AZANZA, D. CASTANERA, J. PARRILLA y L. EZQUERRO (2012b). Nuevos yacimientos de vertebrados del Maastrichtiense superior (Cretácico superior) de Huesca (España). *Geo-Temas*, s. p.
- PUÉRTOLAS-PASCUAL, E., J. I. CANUDO y M. MORENO-AZANZA (2014). The eusuchian crocodylomorph *Allodaposuchus subjuniiperus* sp. nov., a new species from the latest Cretaceous (Upper Maastrichtian) of Spain. *Historical Biology*, 26 (1): 91-104.
- TORICES HERNÁNDEZ, A. (2007). *Los dinosaurios terópodos del Cretácico superior de la Cuenca Surpirenaica*. Tesis presentada en la Universidad Complutense de Madrid. 409 pp.
- TORICES, A., J. I. RUIZ-OMEÑACA, J. I. CANUDO y N. LÓPEZ-MARTÍNEZ (2004). Nuevos datos sobre los dinosaurios terópodos (Saurischia: Theropoda) del Cretácico superior de los Pirineos sur-centrales (Huesca y Lleida). *Geo-Temas*, 6 (5): 71-74.
- TORICES, A., P. CURRIE, J. I. CANUDO y X. PEREDA-SUBERBIOLA (2015). Theropod dinosaurs from the Upper Cretaceous of the south Pyrenean zone. *Acta Palaeontologica Polonica* [en prensa].
- VILA, B., À. GALOBART, J. I. CANUDO, J. LE LOEUFF, J. DINARÉS-TURELL, V. RIERA, O. OMS, T. TORTOSA y R. GAETE (2012). The diversity of sauropod dinosaurs in the latest Cretaceous of southwest of Europe. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 350: 19-38.
- VILA, B., O. OMS, V. FONDEVILLA, R. GAETE, À. GALOBART, V. RIERA y J. I. CANUDO (2013). The latest succession of dinosaur tracksites in Europe: Hadrosaur ichnology, track production and palaeoenvironments. *Plos One*, 8 (9): e72579.

**REDUCCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LA EDIFICACIÓN  
MEDIANTE LA SELECCIÓN CONSCIENTE DE MATERIALES  
DE CONSTRUCCIÓN: EL CASO DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR  
CONSTRUIDA EN TIERRA (TÉCNICA DE LA TAPIA)  
EN EL PREPIRINEO ARAGONÉS**

Àngels CASTELLARNAU<sup>1</sup>

RESUMEN.— La *energía incorporada* en la edificación corresponde a la energía primaria consumida en la extracción, manipulación, transporte, puesta en obra y uso de los materiales de construcción, y la cuantificación de gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera a lo largo de la vida útil del edificio nos informa del potencial de calentamiento global derivado de este. La edificación *casi cero emisiones* pretende reducir el impacto ambiental de esta en todas sus fases (construcción, uso y demolición): la mochila ecológica de los materiales de construcción es considerable y la manera más eficiente de reducirla es utilizar materiales locales (kilómetro 0) poco manipulados. La tierra como material de construcción nos ayuda a conseguir un menor impacto ambiental de nuestras edificaciones, como lo hizo en el pasado. El presente artículo comparativo evalúa parte del impacto ambiental, en fase de construcción, de un edificio diseñado de forma convencional frente al mismo edificio diseñado y construido en tierra (técnica de la tapia) y con estrategias para la reducción consciente de dicho impacto.

ABSTRACT.— Building's *embodied energy* corresponds to the primary energy consumption during the extraction, manipulation, transportation,

---

<sup>1</sup> Doctoranda en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona (Universitat Politècnica de Catalunya) y codirectora de EDRA Cultura y Natura. [angels@edraculturaynatura.com](mailto:angels@edraculturaynatura.com)

installation and use of building materials. Quantification and study of carbon and greenhouse gases emissions over the whole life of the building reports us information of the global warming potential of the building. *Near-zero emissions buildings* aim to reduce their environmental impact: building material's *ecological rucksack* is heavy, and the most efficient way to lighten its load is using local and little handled materials. Earth, as a building material, may help to achieve a lower environmental impact of our buildings, as it did in the past. The present comparative study evaluates part of the environmental impact in the construction stage of a conventional designed building versus the same building built and designed in rammed earth and with aware strategies for reducing this impact.

KEY WORDS.— Earth building, building embodied energy, CO<sub>2</sub> emissions, life-cycle analysis, Aragonese Prepyrenees (Spain).

## INTRODUCCIÓN

Los flujos de los recursos que tienen lugar en los procesos edificatorios permiten relacionar la edificación con su incidencia medioambiental.

A lo largo de la historia, se han ido sustituyendo los materiales locales por otros que se obtienen por procedimientos de extracción más agresivos que provienen de zonas más alejadas y que conllevan un proceso de producción más sofisticado. Estos materiales suponen un mayor coste energético y un mayor impacto ambiental. La cuantificación de estos impactos permite la evaluación de las futuras mejoras.

En España, en el año 2006, aparece el Código Técnico de la Edificación (CTE, de obligado cumplimiento) que persigue la limitación de la demanda energética de los edificios. En su desarrollo, se ha implementado la etiqueta energética que permite, a partir de la aplicación de los programas LIDER y CALENER, la cuantificación de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la fase de uso de la edificación a evaluar en fase de proyecto.

En el año 2013, entra en vigor la modificación del CTE en su documento básico HE relativo a la justificación de la eficiencia energética de la edificación, lo que supone la aparición de la certificación energética con la emisión de la etiqueta energética correspondiente a la edificación una vez ya construida, en relación con el uso del edificio.

Hasta la fecha no existe normativa que incida en el cierre de ciclo de materiales y la cuantificación de los impactos derivados de la construcción del edificio.

La obtención de datos de los ciclos de vida de los materiales es de gran complejidad, pero existen bases de datos a nivel europeo y español que permiten hacer un pre-dimensionado y, como en este caso, un estudio comparativo. Este estudio permite detectar los puntos débiles en cuanto a gasto energético y emisiones de CO<sub>2</sub> de los sistemas constructivos que utilizamos y evaluar posibles mejoras.

A pesar de que los datos absolutos difieren de la realidad, puesto que los datos precisos del ciclo de vida de los materiales varían según la localización de la obra y la procedencia exacta de los materiales colocados en obra, a partir de los datos que tenemos podemos realizar:

- Una evaluación del consumo global energético y de emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo del ciclo de vida de los materiales utilizados en la construcción de un edificio concreto, con el fin de evaluar la eficiencia energética de la fase de construcción.
- Un estudio comparativo de impacto ambiental de los sistemas constructivos.
- Cuantificar la incidencia en el impacto de la selección de los materiales del edificio con criterios de reducción del consumo energético y emisiones a lo largo de su ciclo de vida.
- Impulsar sistemas constructivos de baja carga energética, como es el caso de la construcción con tierra, basándose en su bajo impacto ambiental.

En este caso, dado que no se cuenta con una base de datos que recoja los datos del sector productivo de materiales de construcción en Aragón, se ha utilizado la base de datos metaBASE del Instituto de Tecnología de la Construcción de Catalunya (ITeC), en concreto el Banco BEDEC (edición del año 2013). Esta base de datos nos proporciona información de los indicadores de gasto energético y emisiones de CO<sub>2</sub> de los materiales y de los procesos de ejecución utilizados de cada elemento o sistema constructivo.

El objetivo general de la investigación es demostrar y cuantificar la reducción de la energía incorporada en fase de construcción de una vivienda gracias a la utilización de la tapia como muro de carga y cerramiento de fachada y la sucesión de estrategias con criterio de reducción del impacto ambiental derivadas de este cambio de sistema constructivo.

Los objetivos específicos son:

- La cuantificación del gasto energético y de las emisiones de CO<sub>2</sub> del sistema constructivo de la tapia en comparación con un sistema de muros de carga de bloque cerámico aligerado tipo termoarcilla y capas de trasdosado y aislante.
- La identificación de los capítulos de la obra en los que la selección consciente de materiales supone una reducción significativa de las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la construcción de una edificación concreta.

## METODOLOGÍA

Se redacta un Proyecto Básico y de Ejecución de una vivienda unifamiliar entre medianeras en el que se detallan los elementos constructivos en el año 2013 que cumple las prescripciones del CTE vigente en esa fecha. La vivienda estudiada está ubicada en la localidad de Ayerbe (Huesca), en el Prepirineo aragonés, al noreste de la península ibérica.

La zona climática en la que se ubica la edificación según la clasificación Köppen es una Cfa, que corresponde a un clima templado sin estación seca con un verano caluroso.

A partir de las mediciones redactadas para el proyecto de la vivienda, se plantean sendas hipótesis.

En la primera hipótesis (o proyecto original), los muros de carga de las plantas baja y primera se resuelven mediante un muro de triple hoja. La hoja interior es de bloque cerámico aligerado tipo termoarcilla, la intermedia un aislamiento térmico de poliestireno extrudido y la hoja exterior de ladrillo hueco doble cerámico, una solución constructiva de fachada convencional.

En la segunda hipótesis, se sustituye el muro de carga por un muro de tapia hecha a base de una mezcla de tierra y paja local y calicostrada (revo-co o costra que se construye a la vez que la tapia) con mortero de cal.

Se obtienen los valores globales de gasto energético y emisiones de CO<sub>2</sub>, dos de los indicadores de impacto ambiental de los que podemos obtener datos y que son esclarecedores a la hora de obtener conclusiones en un estudio comparativo como el presente. A continuación, se acotan los capítulos de las mediciones que no varían en función del sistema constructivo, y que serán una constante.

De la base de datos BEDEC se obtienen los de los sistemas constructivos; los que no aparecen en esa base se crean mediante los datos unitarios, obteniendo por asimilación tanto los datos de los materiales como los de su puesta en obra.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### *Descripción de los sistemas constructivos*

La vivienda unifamiliar evaluada consta de una planta semienterrada, una planta baja y otra bajo cubierta (figs. 1 y 2). A continuación, se describen sendas hipótesis y sus sistemas constructivos:

*Hipótesis 1.* Esta hipótesis corresponde a una edificación convencional, construida con los materiales y los sistemas constructivos habituales en la actualidad y en la zona.

Se trata de un edificio de muros de carga de bloque de cemento armado y relleno de hormigón, que arranca desde una cimentación corrida de hormigón armado bajo muros, uno de ellos contiene una calle por la que circulan vehículos. Sobre estos muros se construye un forjado unidireccional de semiviguetas de hormigón armado y bovedilla de cemento. Sobre los muros arrancan los muros de carga de bloque cerámico aligerado de 24 centímetros en la hoja interior, un aislamiento de poliestireno de 5 centímetros y una hoja exterior de ladrillo hueco doble cerámico. El revestimiento exterior será un revoco de mortero de cemento y el interior un enyesado.

Las estructuras de techo de planta baja y de cubierta se resuelven mediante forjados unidireccionales de semiviguetas de hormigón y bovedilla de



**Fig. 1.** Fachada suroeste de la vivienda construida en tapia.





**Fig. 2.** Interior de la vivienda construida en tapias.

cemento. El aislamiento de cubierta será de 5 centímetros de poliestireno extrudido y la cobertura de teja cerámica mixta.

La carpintería exterior es de aluminio con vidriería de doble vidrio con cámara.

*Hipótesis 2.* Se construyen los muros de sótano y su cimentación a base de hormigón en masa. En la cabeza de estos muros se construye un zuncho de hormigón armado en el que descansa un forjado de vigueta de hormigón armado, rasillón cerámico y capa de compresión de 5 centímetros. Sobre estos muros arranca un muro de tapia de 45 centímetros de tierra y paja locales, construido con costra interior y exterior de mortero de cal.

Los forjados de techo de planta baja y la cubierta son de madera asebrada y descargan en unos zunchos de madera embebidos en la tapia. En la cubierta se colocará un aislamiento de lana de oveja y una impermeabilización transpirable. La cobertura es de teja cerámica mixta.

La carpintería exterior se coloca de madera de pino con vidriería con cámara tipo Climalit.

Los criterios de selección de materiales de esta hipótesis se basan en la cercanía de extracción y producción de los materiales, en su naturalidad debido a la inexistencia de aditivos o tratamientos y en su poca manufactura.

### *Identificación de las partidas constantes y variables*

Se han considerado partidas constantes las partidas de la medición que no varían al cambiar el sistema constructivo, como instalaciones, cobertura, vidriería...

Las partidas variables son aquellas sobre las que se puede incidir significativamente con el fin de reducir los impactos energéticos.

En este caso la solución del muro de carga de tapia (incluido en el capítulo de estructura) repercute en otros sistemas como la estructura horizontal (estructura) o los muros de carga / contención del sótano (estructura) y sus cimientos de hormigón en masa (cimentaciones), cambio del que se deriva una cascada de modificaciones.

Al proyectar con *sensibilidad* frente al impacto ambiental se adoptan una serie de medidas que corrigen el valor total de los impactos; es decir, al sustituir los muros de carga por muros de tierra se eliminan (por una cuestión de concepto del sistema constructivo) los forjados de vigueta de hormigón armado que cargan sobre los muros de tierra, y se opta por unos forjados más ligeros y significativamente menos rígidos de viguetas de madera de pino aserrada y tabla de madera de pino.

Este cambio en el sistema constructivo de los forjados supone una minoración de las sollicitaciones en la cabeza de los muros y una reducción de los empujes tanto verticales como horizontales. El muro de tapia se dimensiona de manera que con su espesor absorbe estos empujes. Los muros de sótano se construyen de la misma anchura, pero de hormigón en masa, así como la cimentación corrida bajo los muros. Al eliminar el hierro en los muros se busca reducir significativamente el impacto ambiental.

Otras estrategias de corrección devienen de la compatibilidad de materiales. Por ejemplo, al construir los huecos en la tapia con premarcos / cajones de madera, estos quedan embebidos en el muro y es consecuentemente más compatible la colocación de carpinterías de madera. Del mismo modo, se sustituyen los revocos de mortero de cemento por revocos de mortero de cal, material más compatible con la tierra del interior de los muros.

Otro cambio significativo que deriva de la utilización de madera en los forjados de cubierta consiste en la sustitución de las láminas impermeables de epdm y los aislantes de poliestireno por otras láminas y aislantes transpirables para evitar condensaciones y, consecuentemente, la posible aparición de mohos y xilófagos que ataquen la madera. Por ello, se opta por la colocación de láminas transpirables de butilo y aislantes de lana de oveja y corcho natural, todos ellos compatibles al contacto con la madera.

#### RESULTADOS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA CONSTRUCCIÓN

La vivienda cuenta con una superficie construida de 96,7 m<sup>2</sup> de sótano y de 179,5 m<sup>2</sup> de vivienda. En total se trata de una edificación de 276,2 m<sup>2</sup> de superficie construida.

A continuación, se desglosan los datos de los impactos asociados a la construcción de la vivienda de forma comparativa entre ambas hipótesis.

### *Peso de los materiales de la construcción*

Según los datos obtenidos (tabla I), el peso de los materiales de construcción en la hipótesis 1 supone 2259 kilogramos de materiales por metro cuadrado de edificación, y en la hipótesis 2, 1858 kilogramos, es decir, la hipótesis 2 pesa un 18% menos que la hipótesis 1.

**Tabla I.** Desglose del peso de los materiales usados en cada subsistema de la construcción para sendas hipótesis.

	<i>Hipótesis 1 (kg)</i>	<i>Hipótesis 2 (kg)</i>
Cimentación y saneamiento enterrado	129 886,55	128 764,20
Estructura	371 188,92	313 656,51
Albañilería	27 576,99	17 420,33
Cubierta	11 590,28	11 590,28
Aislamiento e impermeabilizaciones	2332,43	1158,26
Revestimientos y pavimentos	72 396,21	29 351,48
Carpintería y cerrajería	2665,63	2626,96
Pintura	122,52	122,52
Instalaciones	4053,35	4053,35
<i>Total</i>	623 944,03	513 228,42

### *Energía incorporada (o coste energético) de los materiales y procesos constructivos*

A partir de los datos obtenidos (tabla II), el coste de energía de los materiales de construcción en la hipótesis 1 supone 4277 megajulios por metro cuadrado de edificación, y en la hipótesis 2, 2138 megajulios, es decir, la hipótesis 2 tiene un coste energético de un 50% menor que la hipótesis 1.

### *Emisiones de CO<sub>2</sub>*

De acuerdo con los datos obtenidos (tabla III), la emisión de kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalentes de los materiales de construcción en la hipótesis 1 supone 607,3 kilogramos de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> de edificación, y en la hipótesis 2, 236,6 kilogramos, es decir, la hipótesis 2 emite un 61% menos de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes por metro cuadrado que la hipótesis 1.

**Tabla II.** Desglose de la energía incorporada a la fabricación y puesta en obra de los materiales usados en cada subsistema de la construcción para cada hipótesis.

	<i>Hipótesis 1 (MJ)</i>	<i>Hipótesis 2 (MJ)</i>
Movimiento de tierras	6875,80	6875,80
Cimentación y saneamiento enterrado	75 757,91	59 983,20
Estructura	565 162,20	250 160,50
Albañilería	43 675,88	22 157,52
Cubierta	32 444,93	32 444,93
Aislamiento e impermeabilizaciones	158 149,67	55 212,05
Revestimientos y pavimentos	60 900,28	22 813,63
Carpintería, vidriería y cerrajería	166 323,95	68 941,38
Pinturas	11 718,02	11 718,02
Instalaciones	60 315,02	60 315,02
<i>Total</i>	1 181 323,67	590 622,06

**Tabla III.** Desglose de los kilogramos de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes derivadas de la fabricación y puesta en obra de los materiales usados en cada subsistema para cada hipótesis.

	<i>Hipótesis 1 kg de CO<sub>2</sub></i>	<i>Hipótesis 2 kg de CO<sub>2</sub></i>
Movimiento de tierras	1795,47	1795,47
Cimentación y saneamiento enterrado	42 116,87	9383,18
Estructura	56 288,80	26 909,87
Albañilería	4482,17	2306,33
Cubierta	3490,18	3490,18
Aislamiento e impermeabilizaciones	23 329,65	7310,95
Revestimientos y pavimentos	6230,31	1841,54
Carpintería, vidriería y cerrajería	22 487,31	4785,00
Pinturas	1728,88	1728,88
Instalaciones	5801,37	5801,37
<i>Total</i>	167 751,02	65 352,77

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En general, cabe destacar que a pesar de que la hipótesis 2 supone una reducción de un 18% del peso global de la edificación, la reducción de la energía incorporada o coste energético y de las emisiones de CO<sub>2</sub> es de un 50%. Esto demuestra que el peso de los materiales no es proporcional al coste energético o a las emisiones de CO<sub>2</sub> necesarios para su fabricación y puesta en obra.

### *Peso de los materiales de la construcción*

De los datos obtenidos se deduce que la construcción de la hipótesis 1 supone 2260 kg/m<sup>2</sup> de construcción, y la de la hipótesis 2, 1500 kg/m<sup>2</sup>. La media de kilogramos de materiales de construcción por metro cuadrado de edificación en España está en 2792,8 kg/m<sup>2</sup>.

Hay que tener en cuenta que la construcción convencional en España en la última década se basa en el desplazamiento de la masa de los muros existente en la arquitectura tradicional española a los forjados.

Este dato revela que los argumentos que defienden esta tendencia se contradicen con la realidad, puesto que se ha pretendido aligerar los muros con el fin de reducir el peso, pero la edificación en este clima obliga a la construcción masiva de los muros para protegerse del clima y esta es la forma en que se resuelve en la construcción española convencional actual.

Por otro lado, en la construcción de la hipótesis 2, el peso derivado de los muros de hormigón en masa del sótano podría en parte haberse resuelto en tapial con el fin de reducir su peso, pero en el proyecto no se estimó oportuno por una mejor organización de la obra.

Asimismo, por cuestiones de accesibilidad en la puesta en obra, los muros de medianería y de traba de la hipótesis 2 se han tenido que resolver mediante muro de bloque cerámico aligerado, lo que supone un peso inferior que si se hubiese resuelto todo mediante tapia.

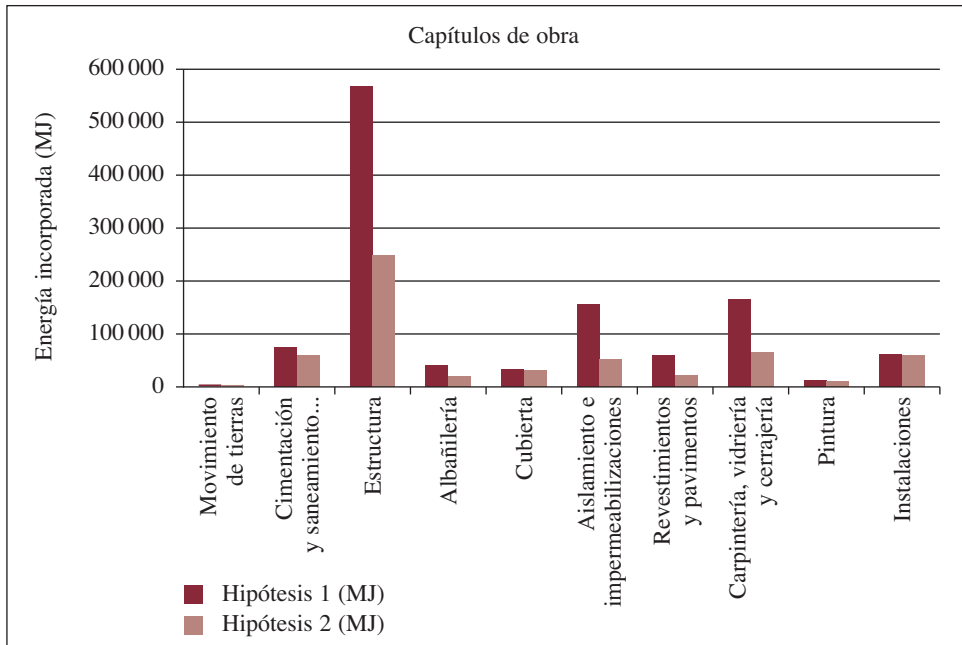
Aun así se considera que los condicionantes particulares de esta edificación se pueden equiparar a los que pueden surgir en cualquier edificación actual a construir en medio urbano, con los usos actuales de la edificación y cumpliendo la normativa de la edificación vigente.

*Energía incorporada (o coste energético) de los materiales y procesos constructivos*

Los subsistemas que más inciden en el cómputo global del coste energético son la estructura (vertical y horizontal) y la carpintería (fig. 3).

En cuanto a la estructura, la selección de materiales masivos con un bajo grado de manufactura permite, como veremos, una reducción significativa de la energía incorporada, así pues la tierra (0 kilómetros) y la madera aserrada (150 kilómetros) cuentan con una energía incorporada significativamente inferior a cualquier material industrializado y comercializado que pueda resolver estas partes de la obra.

Sus componentes se extraen directamente de la naturaleza mediante procesos energéticamente poco costosos, el transporte está localizado (de 0 a 150 kilómetros) y en este caso el proceso de manufactura se realiza en un único emplazamiento (en el caso de la madera 1, en aserradero) y se transporta directamente a la obra.



**Fig. 3.** Comparativa de energía incorporada en los materiales como consecuencia de su fabricación y puesta en obra en las hipótesis 1 y 2.

Por otro lado, merece la pena desglosar los datos del muro de fachada con el fin de evaluar de forma más pormenorizada los valores obtenidos (tabla IV).

De la comparación de los valores obtenidos para sendos sistemas constructivos de fachada, podemos afirmar que el muro de tapial permite un ahorro del 64% de energía incorporada a los materiales de construcción y su puesta en obra.

La introducción de materiales plásticos (poliestireno, pvc, poliuretano, polipropileno...) y algunos metales (aluminio) en los últimos decenios en los sistemas constructivos supone un aumento significativo de la energía incorporada a nuestros edificios; estos materiales contienen una energía incorporada de entre 40 y 180 megajulios por kilogramo (ROVIRA, 1999). Estos materiales se van extendiendo y desarrollando cada vez papeles más específicos en la edificación, lo que explica su crecimiento.

El desarrollo de este tipo de materiales, no naturales e imposibles de integrarse en los ciclos de la biosfera, nos hace más dependientes del control de la industria sobre los sistemas constructivos, lo que supone una mayor tecnificación, por tanto, manufactura e impacto ambiental, sin entrar en la obtención del material ni por supuesto en su reciclaje.

**Tabla IV.** Comparativa de la energía incorporada y de los kilogramos de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes derivadas de la fabricación y puesta en obra de los sistemas de fachada para cada hipótesis.

	<i>MJ</i>	<i>kg de CO<sub>2</sub></i>
<i>Muro de fachada en la hipótesis 1</i>		
Pared de cerramiento de bloque de cerámica aligerada (24 cm)	109 741,69	8880,22
Tabicón de ladrillo hueco doble con 7 cm de espesor	31 517,64	3186,93
Aislamiento con placas de poliestireno extrudido (E = 5 cm)	16 133,85	2382,13
Enforcado con mortero de cal (exterior)	4261,00	677,20
Enyesado a buena vista sobre paramento vertical interior	372,06	289,97
<i>Total</i>	164 926,24	15 416,45
<i>Muro de fachada en la hipótesis 2</i>		
Muro tapial calicostrado dos caras de tierra natural	60 202,89	5135,03
<i>Total</i>	60 202,89	5135,03



Se escapa de este estudio, por falta de datos, la cuantificación de la energía necesaria para el cierre del ciclo de los materiales, que correspondería en el caso de estas fachadas a la demolición, reutilización o, en su defecto, reciclaje de los materiales que intervienen en los muros.

Se puede intuir que el material del muro de tapial (mortero de cal con arena local y tierra local estabilizada con paja) solo conllevará la energía necesaria para su demolición y transporte de vuelta a la naturaleza. Mientras que en la demolición de los muros de termoarcilla, con los yesos y cementos adheridos y la separación del poliestireno, el cierre del ciclo material supondrá seguro un mayor coste energético.

En cuanto a la estructura horizontal, los sistemas con peores valores asociados son los forjados, las vigas y los zunchos de hormigón armado. La utilización de forjados y zunchos de madera aserrada supone una reducción del 83% de la energía incorporada a los materiales y sistemas constructivos de estructura horizontal.

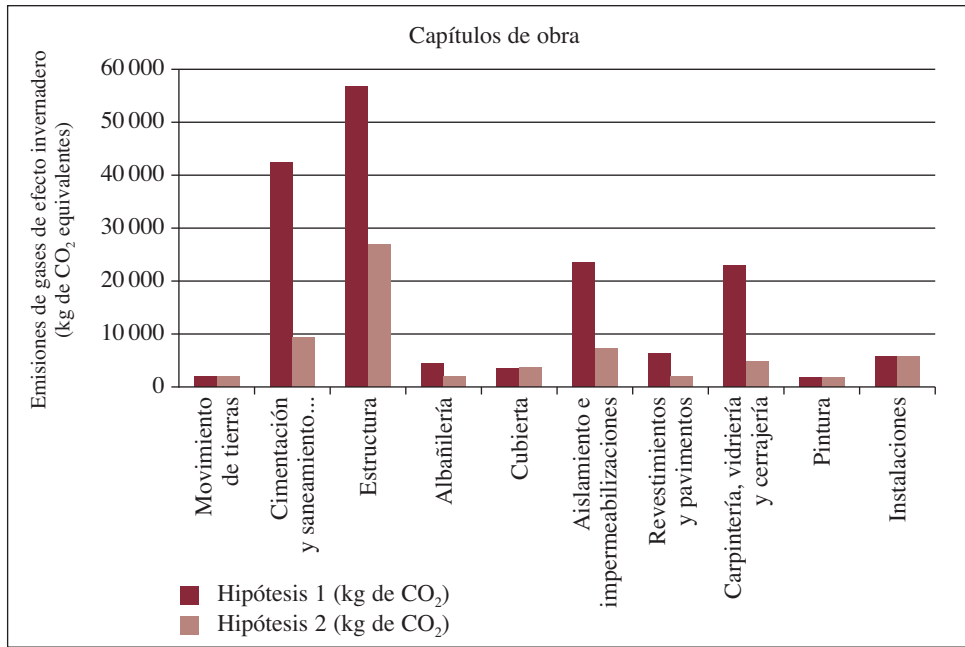
Una vez más, en caso de evaluar el cierre de ciclos materiales, la madera es de fácil reutilización en luces de hasta 4 metros en el ámbito residencial y en su caso es de fácil reciclado.

### *Emisiones de CO<sub>2</sub>*

En el caso de las emisiones de CO<sub>2</sub>, vemos que los aislamientos plásticos (en este caso, poliestireno), y todavía más significativamente las láminas impermeables de las cubiertas (en este caso, EPDM —caucho de etileno propileno dieno—) de la hipótesis 1, suponen por sí mismas un vertido de unos 15 000 kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente a la atmósfera (fig. 4).

Esto se ha corregido en la hipótesis 2 mediante la colocación de aislamientos naturales de paja de cebada, lana de oveja y corcho y mediante la colocación en cubierta de una lámina transpirable de polipropileno muy ligera.

De la misma manera que en el caso de la energía incorporada, el acero y el cemento vierten el doble de kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente que la estructura de tierra y madera; y como se observa en la tabla IV, el subsistema del muro de fachada vierte, en el caso de la utilización de piezas



**Fig. 4.** Comparativa de kilogramos de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes producidas a causa de la fabricación y puesta en obra de los materiales de construcción en las hipótesis 1 y 2.

cerámicas prefabricadas y un aislante de poliestireno, tres veces los kilogramos de CO<sub>2</sub> que vierte la ejecución del muro de tapia calicostrado.

Por último, destaquemos que la carpintería de aluminio, al igual que en relación con el coste energético, incide muy significativamente en las emisiones de kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente, evitando en este caso de estudio el vertido de un 80% de gases a la atmósfera con la colocación de carpintería de madera. Y suponiendo por sí mismas un 17% del total de kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente vertidos derivados de la fabricación y puesta en obra de los materiales de construcción en la vivienda (hipótesis 1).

## CONCLUSIONES

El hecho de utilizar bases no adaptadas localmente hace que no se pueda precisar la energía incorporada de los materiales locales y poco o nada manufacturados (grava, cal, madera, tierra, paja, aislamiento de lana de

oveja, revocos de arcilla). Por no tener estos datos se han despreciado estos matices en el cómputo global que seguro mejorarían significativamente los resultados.

La edificación con tierra posibilita la reintroducción de los materiales locales en los sistemas constructivos, a la vez que permite reducir a un tercio las emisiones de CO<sub>2</sub> vertidas a la atmósfera y a un cuarto la energía incorporada como consecuencia de la construcción de una fachada.

La aplicación de sistemas de construcción con tierra permite una serie de adecuaciones del resto de sistemas de la edificación que supone menor rigidez estructural y una menor industrialización de los materiales, dando cabida a materiales existentes en la construcción tradicional, ya sea tanto de carácter orgánico como inorgánico. Estos materiales, al no requerir de procesos de industrialización, al final de su vida útil son fácilmente reintroducibles en la biosfera, por lo que prácticamente se consigue el cierre de su ciclo material y se reduce significativamente el impacto ambiental derivado de la construcción.

La evolución de las técnicas de tierra, para que estas sean competitivas en cuanto a la evaluación del impacto ambiental, debe evitar la introducción de materiales plásticos, metales y cemento.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ, L. (coord.) (2004). *Análisis de los impactos ambientales asociados a los materiales de construcción empleados en la edificación en la isla de Lanzarote y propuesta desde una perspectiva ambiental*: 122. Life Lanzarote 2001-2004. Cabildo de Lanzarote. Programa MAB UNESCO.
- CUCHÍ, A. (2005). *Arquitectura i sostenibilitat*. Ediciones UPC (Temas de Tecnologia i Sostenibilitat, 2). Barcelona.
- ROVIRA, J. L. (1999). *Guía de la edificación sostenible: calidad energética y medioambiental en edificación*. Institut Cerdà. Barcelona.



**TIPIFICACIÓN DE PATRONES ESPACIO-TEMPORALES  
Y EN RELACIÓN CON LAS CRECIDAS DE  $\text{NO}_3^-$ ,  
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN Y SALES DISUELTAS EN LA CUENCA  
DEL RÍO FLUMEN (HUESCA)**

Nadia DARWICHE-CRIADO<sup>1</sup>  
Francisco A. COMÍN<sup>1</sup>

RESUMEN.— Durante las crecidas de los ríos se producen cambios en las concentraciones de los contaminantes que influyen en la calidad de las aguas superficiales. Desde febrero de 2010 hasta octubre de 2012 se recogieron muestras de agua durante doce crecidas que tuvieron lugar en la zona sur de la cuenca del río Flumen para tipificar las variaciones de compuestos disueltos y sólidos en suspensión. Mediante la comparación de estos análisis con datos de muestras adicionales recogidas en temporada de regadío y de no regadío, así como del compendio de datos hidrometeorológicos y el estudio de los bucles de histéresis, se obtuvo una visión global sobre los mecanismos que afectan a la trayectoria y el transporte de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), sólidos en suspensión (TSS) y sales disueltas. Los resultados obtenidos indicaron cambios en la calidad del agua en función de los usos del suelo y de las variaciones estacionales y eventuales relacionadas con los episodios de crecida.

ABSTRACT.— During river floods, changes in the pollutants concentrations take place that influence the surface water quality. From February 2010 to October 2012, water samples from 12 floods that occurred in the southern part of the Flumen River basin were collected to characterize the relationships between dissolved compounds and suspended solids and water discharge.

---

<sup>1</sup> Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC). Avda. de Nuestra Señora de la Victoria, s/n. E-22700 JACA / Avda. de Montañana, 1005. E-50192 ZARAGOZA. darwiche@ipe.csic.es, comin@ipe.csic.es

By comparing these analyses with the collection of additional samples during irrigation and non-irrigation season, the compendium of hydrometeorological data and the study of hysteresis loops, an overview of the mechanisms that affect the trends and transport of nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), suspended solids (TSS) and dissolved salts was obtained. Results showed changes in water quality based on land use and seasonal and eventual variations in relation to flood events.

KEY WORDS.— Flood events, hysteresis, pollutants transport, land use, Flumen River basin (Aragón, Spain).

## INTRODUCCIÓN

El uso sostenible de los recursos naturales, uno de los objetivos del desarrollo de toda sociedad y particularmente deseable en territorios socio-económicamente avanzados, requiere la mejora continuada de los usos de los recursos y de la calidad de los retornos obtenidos de su utilización. Las actividades humanas son un factor importante que influye sobre la calidad del agua superficial y subterránea a través de la contaminación atmosférica, las descargas de efluentes, el uso de productos químicos para la agricultura, la erosión y los usos del suelo (NIEMI y cols., 1990). Los patrones seguidos por los contaminantes pueden ayudarnos a entender las características de su transporte asociadas a los procesos hidrológicos (KANG y LIN, 2007). Debido a esto, el conocimiento de la transferencia de contaminantes en las cuencas de los ríos es esencial a la hora de tomar medidas para mitigar la degradación de la calidad del agua.

Los periodos hidrológicamente activos como las crecidas son importantes debido a que la adición de nuevas fuentes de agua durante tales eventos moviliza nuevas y diferentes fuentes de nutrientes de la cuenca (BUDA y DEWALLE, 2009). Algunos estudios han comprobado que la mayor parte de la pérdida de los nutrientes ocurre durante los eventos de precipitación (ROYER y cols., 2006; WAGNER y cols., 2008). Asimismo, el estudio de las concentraciones de nutrientes y las relaciones de descarga durante las crecidas puede ser un enfoque útil para la identificación de las fuentes contaminantes (MCDIFFET y cols., 1989). En hidrología se denomina *histéresis* al comportamiento no lineal de las relaciones concentración / caudal (respuestas C-Q) (ELÓSEGUI y BUTTURINI, 2009). Un modelo de histéresis en sentido horario indica un rápido transporte de los nutrientes. También puede

apuntar a un agotamiento de su suministro posiblemente como una consecuencia del efecto de dilución durante el evento de crecida (WILLIAMS, 1989). Un modelo de histéresis antihorario podría estar relacionado con la movilización limitada en los periodos secos antecedentes y, por lo tanto, bajas concentraciones en la corriente.

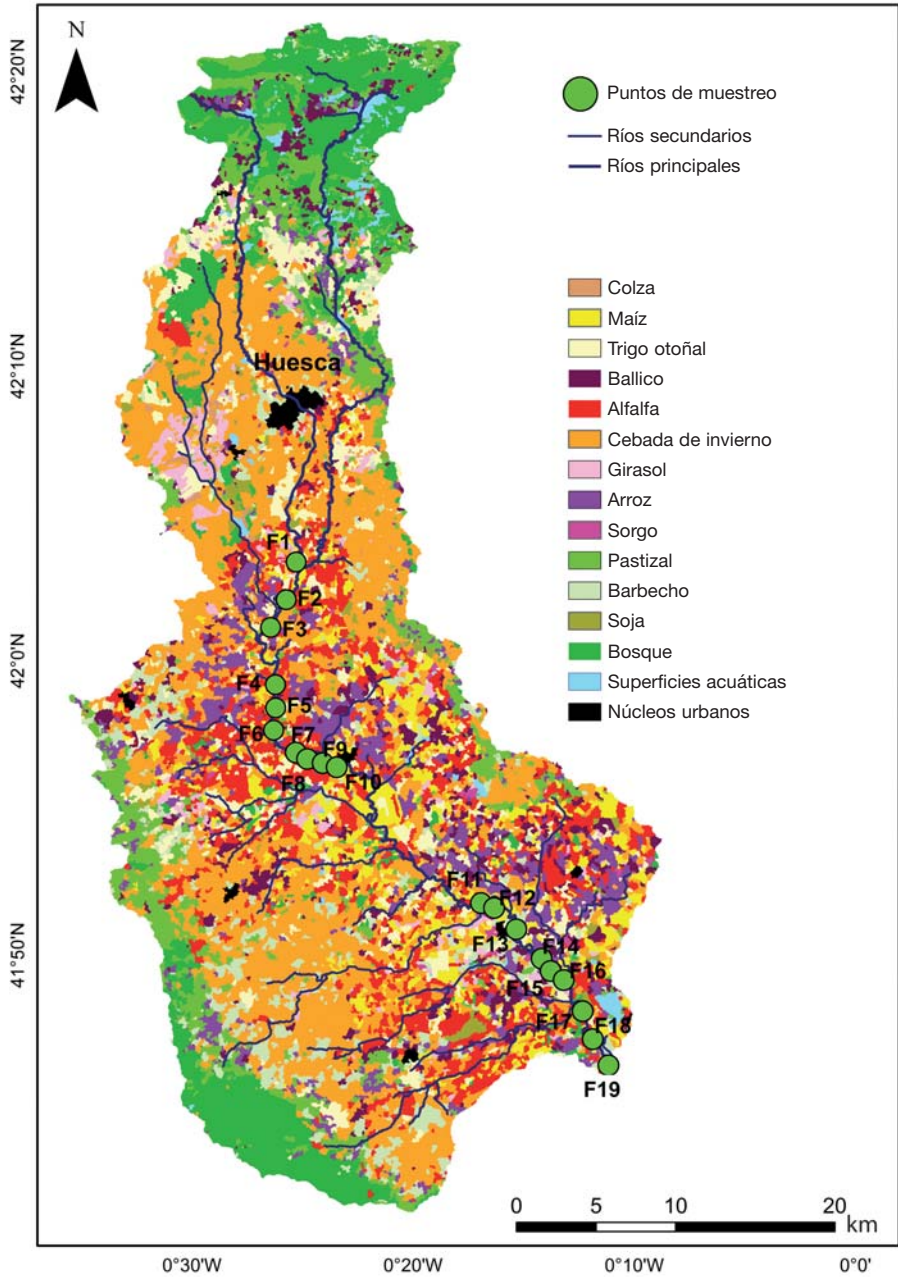
El objetivo de este estudio fue identificar los patrones de descarga de  $\text{NO}_3^-$ , sales disueltas y sólidos en suspensión en la cuenca del río Flumen. Para ello, se utilizaron datos recogidos tanto durante eventos de crecida como en periodos de caudal estable, en diferentes épocas del año. De esta manera, se han analizado: (1) la influencia de los usos del suelo sobre la calidad del agua superficial, (2) el origen, naturaleza y riesgo que suponen las crecidas según el comportamiento de los contaminantes, y (3) los factores que influyen en su transporte. Así, se ha obtenido una visión global de los mecanismos de transferencia de estas variables que facilitará la optimización de medidas que minimicen el impacto de la contaminación de las aguas en cuencas agrícolas.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### *Zona de estudio*

La zona de estudio se encuentra dentro de la cuenca del río Flumen. Este río se localiza en la provincia de Huesca (Aragón, España), con un recorrido de 120 kilómetros. Nace en la sierra de Guara, un sistema montañoso prepirenaico de naturaleza calcárea, y recorre extensos llanos de una actividad agrícola cada vez más intensa, hasta su desembocadura en el río Alcanadre.

El clima en la zona es mediterráneo, con precipitaciones irregulares. Los principales núcleos de población en la cuenca son Huesca, Grañén y Sariñena. El balance hídrico de la cuenca del río Flumen es modificado por la entrada de agua proveniente de otras cuencas, desde el embalse de El Grado I, en la cuenca del río Cinca, y el embalse de la Sotonera, en la cuenca del río Gállego, para regadío, y del embalse de Vadiello, en la cuenca del río Guatizalema, para consumo de boca de la ciudad de Huesca. Esto se traduce en una inversión del caudal natural del agua del río Flumen, con mayor caudal en general durante la época de riego.



**Fig. 1.** Usos del suelo mayoritarios en la cuenca del río Flumen y situación de las estaciones de muestreo.



Los usos de suelo existentes (fig. 1) están principalmente distribuidos en tres áreas distintas dentro de la cuenca: forestal (zona norte), urbana (zona centro) y agrícola (zona sur). Solo un aporte externo de agua permite una agricultura intensiva como la que se da en la comarca de Los Monegros, cuya combinación con excedentes de fertilizantes provoca el lavado y el transporte de nutrientes.

### *Muestreo*

Se llevó a cabo una estrategia de muestreo en dos fases.

La primera fase se desarrolló desde diciembre de 2009 hasta octubre de 2012. Para ello, se instaló un tomamuestras automático (AWS Eco Tech 2002-YSI) en las cercanías de la estación de aforo de Albalatillo (X: 734430, Y: 4627005). A su vez, este tomamuestras estaba conectado a una sonda multiparamétrica YSI 6900 (YSI Incorporated, Ohio, USA) que detectaba las variaciones del nivel del agua. En función de la época del año y de las condiciones meteorológicas esperadas, el tomamuestras fue programado para tomar muestras de agua con variaciones de 10 o de 20 centímetros (en temporada de no regadío y de regadío, respectivamente). Esta fase tuvo como objetivo la evaluación de las tendencias de los contaminantes durante las crecidas y de los factores hidrológicos y estacionales que afectan a su transporte.

La segunda fase se desarrolló a lo largo de 2014. Se llevaron a cabo cuatro campañas de campo (febrero, abril, julio y octubre), tomando muestras en diferentes puntos a lo largo del recorrido del río por la comarca de Los Monegros (fig. 1) y en fechas coincidentes con las crecidas estudiadas. Esta etapa se llevó a cabo para poder relacionar los usos del suelo existentes en la zona con la calidad de las aguas superficiales.

Por otra parte, y con el objetivo de referir las actividades agrícolas de la zona con la calidad del agua, se obtuvieron los itinerarios de actividades agrícolas de la zona a través de encuestas y diferentes visitas de campo. Asimismo, y a partir de las crecidas capturadas, se generó una base de datos hidrometeorológicos para cada evento (tabla I; datos obtenidos en 2013 de la AEMET y de la Oficina del Regante del Gobierno de Aragón), que recogía

**Tabla 1.** Parámetros que definen cada evento de crecida analizado.

N.º	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fecha	Febrero de 2010	Junio de 2010	Octubre de 2010	Noviembre de 2011	Marzo de 2011	Mayo de 2011	Junio de 2011	Abril de 2012	Mayo de 2012	Julio de 2012	Octubre de 2012	Noviembre de 2012
<i>P1d (mm)</i>	2,56	1,98	5,97	2,63	0,20	0,15	1,02	0,00	11,73	13,33	2,88	0,03
<i>P5d (mm)</i>	0,00	0,00	0,70	2,47	0,00	0,00	0,03	0,00	0,21	0,00	2,09	3,55
<i>P10d (mm)</i>	0,06	1,05	0,00	0,88	0,00	5,96	0,00	0,00	2,15	0,00	1,43	1,64
<i>Qb (m³/s)</i>	3,9	5,4	6,5	3,6	2,7	2,9	6,8	1,8	3,1	2,1	3,0	5,8
<i>Qa (m³/s)</i>	10,3	10,7	38,2	19,8	4,1	5,7	12,2	11,7	18,3	26,4	8,8	146,6
<i>FD (h)</i>	122	333	105	67	47	141	80	50	87	88	150	110
<i>TR (h)</i>	57	100	25	9	6	24	44	13	13	33	48	19
<i>Pt (mm)</i>	22,8	41,6	34,5	9,8	20,7	29,7	13,2	20,4	36,0	16,0	105,6	11,8
<i>Imax (mm/h)</i>	1,71	9,72	0,94	2,64	3,53	6,83	5,56	4,13	5,08	0,46	14,93	6,18
<i>IF (m³/min²)</i>	0,12	0,33	0,53	0,14	0,50	0,39	0,11	1,27	1,79	0,21	2,99	0,52
<i>Wt (hm³)</i>	3,91	15,55	4,06	0,96	0,70	2,97	2,66	1,04	3,40	1,39	28,56	3,04
<i>Qm (m³/s)</i>	7,4	12,9	10,6	4,0	4,1	5,9	9,1	5,7	10,7	4,3	52,9	8,1
<i>Qmax (m³/s)</i>	10,7	38,2	19,8	4,8	5,7	12,2	11,7	18,3	26,4	8,9	146,6	15,6
<i>Nm (mg/l)</i>	21,4	6,8	10,1	26,8	17,5	17,8	13,3	10,2	12,3	12,7	18,3	30,1
<i>Nmax (mg/l)</i>	32,1	11,3	11,1	34,2	19,2	31,9	13,9	18,6	18,4	15,2	28,0	30,3
<i>Nt (t)</i>	85,3	99,6	41,2	26,2	12,1	48,3	35,5	9,8	40,8	16,9	477,6	64,5
<i>SSm (mg/l)</i>	136,0	669,3	751,6	7,4	23,2	198,6	433,3	3017,4	1138,1	1181,4	2726,6	180,3
<i>SSmax (mg/l)</i>	492,5	1877	793,3	8,9	28,4	944,5	932,0	7098	2734	2254	13405	292,4
<i>SSt (t)</i>	62 221	1 066 205	306 283,8	7,1	17,1	81 273,9	127 091,0	379 525,3	378 479,9	185 708,5	5 138 397	63 098,5
<i>Clm (mg/l)</i>	114,0	81,1	64,1	121,5	118,2	139,0	81,8	103,3	122,2	80,4	126,1	165,2
<i>Clmax (mg/l)</i>	132,4	103,3	69,9	146,4	141,9	236,5	89,5	142,1	157,1	107,5	167,6	178,7
<i>Clt (t)</i>	447,4	1250,2	261,9	118,2	83,8	380,9	218,9	107,5	423,7	105,1	3176,4	488,1
<i>SO<sub>m</sub> (mg/l)</i>	235,5	155,8	75,2	246,7	220,4	307,5	219,5	163,0	181,4	156,9	229,2	383,8
<i>SO<sub>m</sub>max (mg/l)</i>	272,9	234,3	105,8	301,2	242,3	522,7	234,4	228,7	248,8	194,1	397,3	413,3
<i>SO<sub>t</sub> (t)</i>	921,1	2290,5	314,1	240,3	153,6	839,5	586,2	167,5	626,0	202,3	6783,2	1137,2
<i>Nam (mg/l)</i>	101,8	87,3	115,9	129,4	117,0	125,6	51,1	106,9	83,8	77,4	120,2	169,0
<i>Namax (mg/l)</i>	128,0	97,4	172,1	153,6	132,1	142,2	57,9	151,0	104,5	96,9	167,4	190,9
<i>Nat (t)</i>	400,7	1372,7	432,5	125,0	80,8	378,1	135,8	104,7	291,4	103,6	3107,1	498,4
<i>Km (mg/l)</i>	5,7	7,0	14,0	4,8	5,6	5,9	3,3	5,6	3,9	6,1	11,3	6,8
<i>Kmax (mg/l)</i>	7,6	9,2	20,4	5,6	7,1	7,4	3,8	10,6	6,6	8,7	13,6	8,1
<i>Kt (t)</i>	22,9	113,2	52,6	4,6	3,9	18,7	8,9	5,4	13,4	9,5	327,2	21,5
<i>Cam (mg/l)</i>	100,8	85,6	85,9	81,6	84,0	99,2	62,6	59,3	62,9	55,7	87,6	123,8
<i>Camax (mg/l)</i>	118,7	119,7	118,6	93,4	90,5	110,9	67,3	76,0	73,4	63,2	125,2	130,7
<i>Cat (t)</i>	393,4	1273,7	327,7	79,1	59,1	302,7	167,6	58,7	218,1	76,6	2684,0	371,3
<i>Mgm (mg/l)</i>	32,3	24,8	31,7	40,7	32,3	37,8	18,5	23,6	20,9	22,1	31,9	53,5
<i>Mgmax (mg/l)</i>	38,4	33,7	46,6	46,4	35,0	43,2	20,3	29,3	31,6	25,3	55,5	61,5
<i>Mgt (t)</i>	126,2	372,5	118,6	39,2	22,0	114,7	49,4	22,7	71,3	29,2	911,5	157,2

la precipitación 10 días antes del evento (P10d), 5 días antes del evento (P5d), 1 día antes del evento (P1d), el caudal de base (Qb), el caudal antecedente (Qa), la duración de la crecida (FD), el tiempo en alcanzar el caudal máximo (TR), la precipitación total (Pt), la intensidad máxima de precipitación (Imax), la intensidad de la crecida (IF), el volumen total (Wt), el caudal medio (Qm), el caudal máximo (Qmax) y las concentraciones medias (m) y máximas (max), así como la carga (t) de cada una de las variables analizadas.

### *Métodos analíticos*

Respecto al protocolo de laboratorio y en ambas fases, las muestras de agua fueron almacenadas a una temperatura de 4 °C hasta que se llevó a cabo su análisis. El análisis de los sólidos en suspensión (TSS) se realizó mediante el método gravimétrico (filtración a través de membrana de 0,45  $\mu\text{m}$  de poro y desecación del filtro a 105 °C). Tras el filtrado de la muestra, las sales disueltas ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) se determinaron por cromatografía iónica (cromatógrafo iónico Metrohm 861 Advanced Compact IC, columna Metrosep C 2-250 silica gel with carboxyl groups). Los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) se analizaron también mediante cromatografía iónica con supresor químico (cromatógrafo iónico Metrohm 861 Advanced Compact IC, columna Metrosep A Sup 2 poliestirenedivinylbenzene polimer) (APHA, 2012).

Para la interpretación de los resultados se efectuaron un análisis de componentes principales (ACP), una matriz de correlación de Pearson y un análisis *cluster* (AC) mediante el *software* R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011). Para realizar el ACP se utilizaron los resultados recogidos en la tabla I con el objetivo de evaluar la importancia de los factores que influyen en el transporte y comportamiento de los nutrientes y sedimentos en los eventos de crecida. La matriz de correlación de Pearson fue utilizada para expresar la relación existente entre estos factores con la tendencia seguida por dichas variables. Por otra parte, el AC fue aplicado en los resultados obtenidos de las nuevas muestras recogidas en 2014 para evaluar la influencia de los usos del suelo en la calidad del agua, buscando diferencias y similitudes entre las estaciones de muestreo en

términos de la composición química del agua. En este caso se utilizó el método de Ward para obtener una clasificación óptima de las estaciones de muestreo (KUIPER y FISHER, 1975) y la distancia euclídea por ser la medida recomendada para este método de agrupamiento (HAIR y cols., 2006). Los datos fueron previamente estandarizados mediante el método de las puntuaciones Z.

Asimismo, se construyeron gráficos de histéresis para cada evento, relacionando el caudal con la concentración de cada variable analizada. Para ello, se siguió la metodología propuesta por BUTTURINI y cols. (2006), tipificando cada crecida por medio de dos parámetros:  $\Delta C$  y  $\Delta R$ .  $\Delta C$  describe los cambios en la concentración del soluto a lo largo de la crecida mientras que  $\Delta R$  refleja la dinámica seguida por cada variable durante el evento de inundación.

$$\Delta C = (C_s - C_b) / C_{\max} * 100$$

Siendo  $C_s$  y  $C_b$  las concentraciones existentes durante el caudal máximo y el caudal de base, respectivamente, y  $C_{\max}$ , la máxima concentración observada durante la crecida.

$$\Delta R = R * A_h * 100$$

Siendo  $A_h$  el área de la histéresis y  $R$  un coeficiente que resume el patrón de la histéresis ( $R = 1$  horario,  $R = -1$  antihorario).

Se construyeron gráficos del tipo  $\Delta C$  vs.  $\Delta R$ . En estos gráficos, se representan los valores de  $\Delta C$  y  $\Delta R$  para cada evento en el plano unitario. Este plano muestra cuatro regiones. En la región A ( $\Delta C > 0$ ,  $\Delta R > 0$ ), se localizan los bucles de histéresis con un patrón rotacional horario y una tendencia general positiva (la concentración del soluto aumenta durante el aumento del caudal). La región B ( $\Delta C < 0$ ,  $\Delta R > 0$ ) describe patrones de histéresis horarios, pero con una tendencia general negativa (dilución de la concentración durante el descenso del caudal). En la región C ( $\Delta C < 0$ ,  $\Delta R < 0$ ), los bucles de histéresis siguen una tendencia antihoraria y una tendencia general negativa (dilución de la concentración durante el aumento del caudal). Por último, la región D ( $\Delta C > 0$ ,  $\Delta R < 0$ ) describe histéresis antihorarias, pero con una tendencia general positiva (aumento de la concentración durante el descenso del caudal) (BUTTURINI y cols., 2006).

## RESULTADOS

### *Factores hidrometeorológicos que afectan a la transferencia de los contaminantes durante las crecidas*

Durante el periodo de tiempo en el que se llevó a cabo el estudio de los eventos de crecida (diciembre de 2009 – octubre de 2012), no hubo una distribución estacional clara (tres en invierno, cuatro en primavera, cuatro en otoño y uno en verano), pero la frecuencia fue baja en verano. La precipitación total anual alcanzó los 1016 milímetros (53 milímetros en diciembre de 2009, 345 en 2010, 222 desde enero a junio de 2011 y 396 en 2012). Las crecidas de mayor envergadura tuvieron lugar en primavera (marzo-junio) y otoño (octubre-diciembre). Durante estos episodios, la precipitación total osciló de 9,77 a 105,58 milímetros. La precipitación mínima (9,77 milímetros) tuvo lugar en el evento 4 (noviembre de 2010). El evento 11 tuvo la más alta con 105,58 milímetros, en octubre de 2012. La intensidad máxima de precipitación (mm/h) fue desde 0,46 a 14,93 mm/h. La duración de los eventos (h) fluctuó de 47 a 333 h (media = 115 h). Teniendo en cuenta este hecho, cuatro crecidas excedieron este valor medio mientras que la duración de las restantes fue menor. La crecida con una mayor duración ocurrió en primavera, en junio de 2010. El máximo caudal horario durante el periodo de estudio varió de 4,85 m<sup>3</sup>/s (evento 4, en noviembre de 2010) a 146,55 m<sup>3</sup>/s (evento 11, en octubre de 2012). La mayor intensidad también tuvo lugar en octubre de 2012 y fue de 2,99 m<sup>3</sup>/min<sup>2</sup>, y la más baja, de 0,14 m<sup>3</sup>/min<sup>2</sup>, se produjo en noviembre de 2010. El tiempo empleado en alcanzar la cumbre de la crecida osciló de 6 a 100 h (tabla I).

En el ACP (tabla II), tres factores fueron retenidos. Estos tres factores alcanzaron el 79% de la varianza total. Solo el primer factor explicó el 41% de la varianza total. La precipitación total (Pt), la máxima intensidad de la crecida (Imax), la intensidad de la crecida (IF), el volumen total (Wt), los caudales medio y máximo (Qm y Qmax), así como Nt, SSmax, SSt, Clt, SO<sub>4</sub>t, Nat, Kt, Cat y Mgt fueron agrupados en el primer factor del ACP, que se caracterizó por un autovalor positivo muy alto (> 0,80) para estas variables.

Este hecho sugirió la existencia de una fuerte relación entre la carga de las variables mencionadas y las condiciones hidrometeorológicas. El

**Tabla II.** Resultado del análisis de componentes principales (ACP).

<i>Variables</i>	<i>Componentes</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>P1d</i>			
<i>P5d</i>		0,782	
<i>P10d</i>			0,507
<i>Qb</i>			-0,648
<i>Qa</i>		0,702	
<i>FD</i>			
<i>TR</i>			
<i>Pt</i>	0,973		
<i>Imax</i>	0,855		
<i>IF</i>	0,835		
<i>Wt</i>	0,959		
<i>Qm</i>	0,972		
<i>Qmax</i>	0,990		
<i>Nm</i>		0,787	
<i>Nmax</i>		0,656	0,591
<i>Nt</i>	0,947		
<i>SSm</i>	0,639		
<i>SSmax</i>	0,893		
<i>SSt</i>	0,988		
<i>Clm</i>		0,689	0,674
<i>Clmax</i>			0,784
<i>Clt</i>	0,976		
<i>SO<sub>t</sub>m</i>		0,698	0,597
<i>SO<sub>t</sub>max</i>		0,578	0,651
<i>SO<sub>t</sub>t</i>	0,971		
<i>Nam</i>		0,910	
<i>Namax</i>		0,777	
<i>Nat</i>	0,967		
<i>Km</i>			-0,664
<i>Kmax</i>			-0,679
<i>Kt</i>	0,974		
<i>Cam</i>		0,934	
<i>Camax</i>		0,787	
<i>Cat</i>	0,962		
<i>Mgm</i>		0,979	
<i>Mgmax</i>		0,910	
<i>Mgt</i>	0,965		

**Tabla III.** Resultados de la matriz de correlación de Pearson.

	<i>P<sub>t</sub></i>	<i>W<sub>t</sub></i>	<i>Q<sub>m</sub></i>	<i>Q<sub>max</sub></i>	<i>N<sub>t</sub></i>	<i>SS<sub>t</sub></i>	<i>Cl<sub>max</sub></i>	<i>Cl<sub>t</sub></i>	<i>SO<sub>4</sub><sup>-</sup></i>	<i>N<sub>am</sub></i>	<i>N<sub>at</sub></i>	<i>K<sub>m</sub></i>	<i>K<sub>t</sub></i>	<i>Cat</i>
<i>Imax</i>	0,789													
<i>IF</i>	0,835													
<i>W<sub>t</sub></i>	0,934													
<i>Q<sub>m</sub></i>	0,956	0,935												
<i>Q<sub>max</sub></i>	0,967	0,948	0,993											
<i>N<sub>t</sub></i>	0,919	0,878	0,977	0,971										
<i>SS<sub>max</sub></i>	0,828	0,755	0,849	0,884	0,869									
<i>SS<sub>t</sub></i>	0,957	0,945	0,987	0,996	0,979									
<i>Cl<sub>t</sub></i>	0,947	0,985	0,968	0,976	0,932	0,971								
<i>SO<sub>4</sub><sup>-</sup>max</i>							0,917							
<i>SO<sub>4</sub><sup>-</sup></i>	0,933	0,972	0,971	0,974	0,947	0,972		0,997						
<i>N<sub>amax</sub></i>										0,924				
<i>N<sub>at</sub></i>	0,944	0,991	0,956	0,966	0,914	0,962		0,996	0,989					
<i>K<sub>max</sub></i>												0,952		
<i>K<sub>t</sub></i>	0,959	0,981	0,974	0,980				0,986	0,981		0,991			
<i>Cat</i>	0,936	0,996	0,948	0,957	0,902	0,954		0,994	0,986		0,998		0,987	
<i>Mgt</i>	0,940	0,986	0,961	0,967	0,925	0,964		0,996	0,993		0,999		0,991	0,997

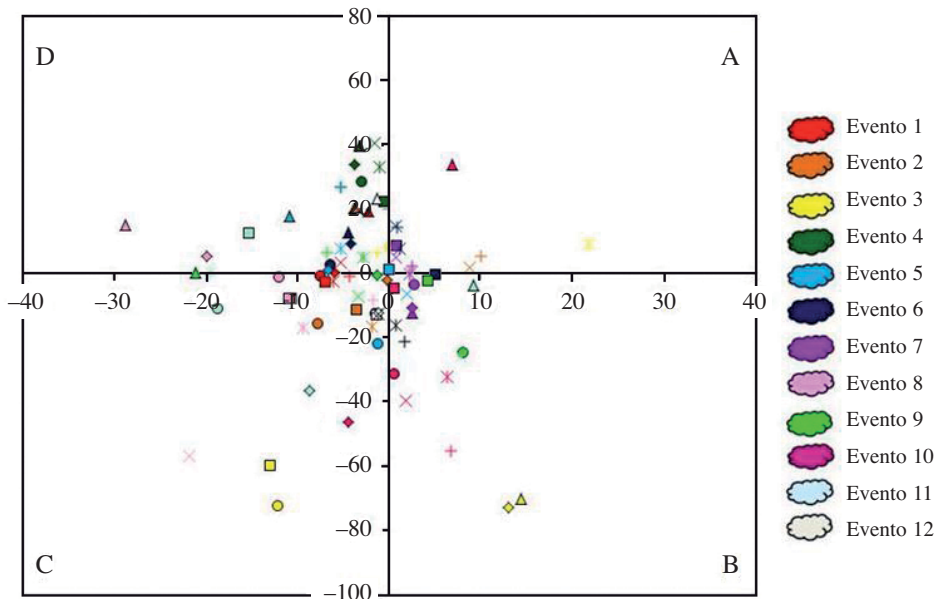
\* Solo se muestran aquellas variables con correlaciones significativas.

componente 2 solo mostró un autovalor muy alto y positivo para Nam, que estuvo positivamente relacionado con P5d y Qa. En el factor 3 no se encontraron autovalores altos.

Los resultados de la matriz de correlación de Pearson se muestran en la tabla III. Dada la elevada cantidad de variables analizadas, solo se muestran aquellas con una relación significativa a nivel  $p < 0,01$ . En este caso, y coincidiendo con los resultados del ACP, se observaron relaciones significativas positivas entre la precipitación total (Pt), la máxima intensidad de la crecida (Imax), la intensidad de la crecida (IF), el volumen total (Wt), los caudales medio y máximo (Qm y Qmax), Nt, SSmax, SSst, Clt, SO<sub>4t</sub>, Nat, Kt, Cat y Mgt.

### *Clasificación de las crecidas*

En el caso de las sales disueltas (fig. 2), la mayor parte se agrupa en torno al origen; si bien en la región A ( $\Delta C > 0$ ,  $\Delta R > 0$ ) observamos una menor

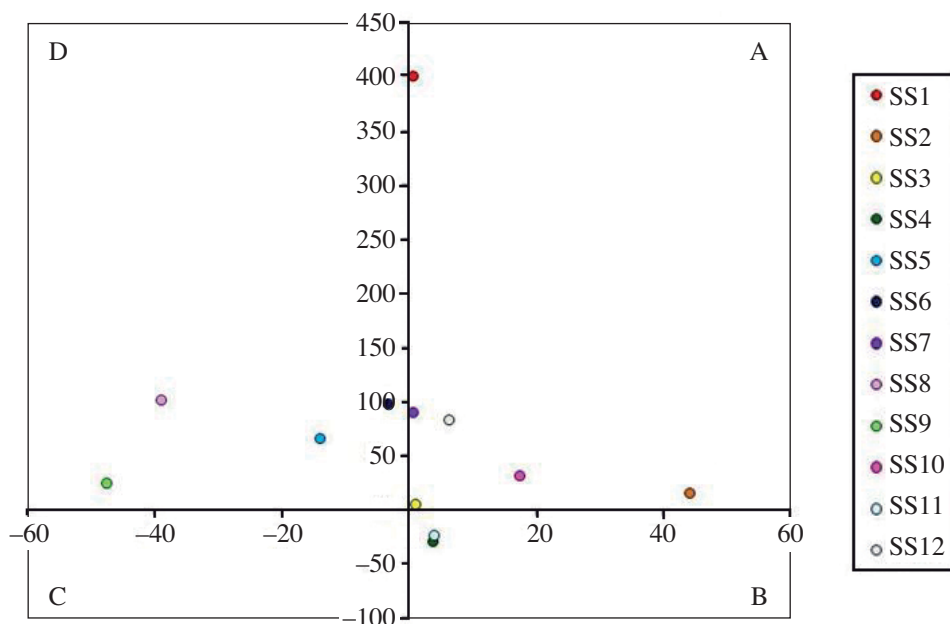


**Fig. 2.** Representación de  $\Delta C$  y  $\Delta R$  para las sales disueltas en cada evento (las variables se muestran bajo diferentes formas y los eventos bajo diferentes colores).



agrupación de compuestos. En la crecida de octubre de 2010,  $\text{SO}_4^{2-}$  alcanzó un valor  $\Delta R > 20\%$ . En la región B ( $\Delta C < 0, \Delta R > 0$ ) no se mostró ninguna tendencia mayoritaria de los compuestos analizados. Sin embargo, en la región C ( $\Delta C < 0, \Delta R < 0$ ) se observó una mayor agrupación de  $\text{Mg}^{2+}$ . También en esta región, en la crecida de abril de 2012,  $\text{NO}_3^-$  alcanzó un valor  $\Delta R < -20\%$ . Por último, en la región D ( $\Delta C > 0, \Delta R < 0$ ) se mostró una mayor agrupación de  $\text{K}^+$ . En esta región y para las crecidas de abril y mayo de 2012,  $\text{K}^+$  alcanzó valores  $\Delta R < -20\%$ .

En el caso de los sólidos en suspensión (fig. 3), se observó que la mayor parte de las crecidas se situaron en las regiones A ( $\Delta C > 0, \Delta R > 0$ ) y D ( $\Delta C > 0, \Delta R < 0$ ). En la región A ( $\Delta C > 0, \Delta R > 0$ ) y para la crecida de junio de 2010 se alcanzó un valor  $\Delta R > 20\%$ . En la región B ( $\Delta C < 0, \Delta R > 0$ ) solo se agruparon dos eventos, mientras que en la región C ( $\Delta C < 0, \Delta R < 0$ ) no se situó ninguno. En la región D ( $\Delta C > 0, \Delta R < 0$ ), los eventos correspondientes a abril y mayo de 2012 alcanzaron valores de  $\Delta R < -20\%$ .



**Fig. 3.** Representación de  $\Delta C$  y  $\Delta R$  para los sólidos en suspensión en cada evento.

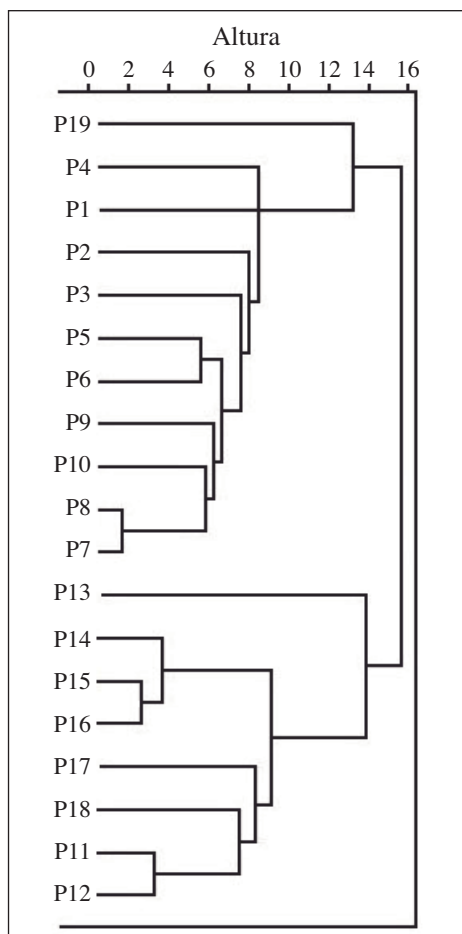
### Caracterización espacial de la zona de estudio

Tras realizar las campañas de campo propuestas durante 2014 y llevar a cabo los análisis de laboratorio, los resultados obtenidos de las concentraciones medias de los parámetros analizados se muestran en la tabla IV.

A nivel estacional, se observó un aumento de la concentración de TSS a lo largo de los muestreos y coincidente con el inicio y desarrollo de la temporada de regadío en la zona. Este hecho se repitió para la carga de TSS. En el caso de la concentración de  $\text{NO}_3^-$  se observaron valores similares a lo largo de todas las campañas. Sin embargo, en términos de carga, estos valores

**Tabla IV.** Concentraciones promedio y desviaciones típicas de los parámetros fisicoquímicos analizados.

	Febrero		Abril		Julio		Octubre	
	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
Temp. (°C)	7,19	0,88	14,56	1,30	18,43	1,69	17,56	1,26
pH	8,29	0,15	8,15	0,09	8,17	0,17	7,81	0,10
Cond. esp. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	982	283	1065	586	1084	201	1047	136
$\text{O}_2$ (%)	113,33	13,68	104,94	14,25	8,53	0,80	86,46	5,59
O disuelto (mg/l)	13,7	1,9	10,6	1,2	92,6	9,2	8,3	0,5
TSS (mg/l)	14,3	7,5	52,7	20,3	78,4	28,6	200,3	192,0
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	68,0	36,5	64,5	35,3	70,3	18,7	85,5	23,1
$\text{NO}_3^-$ (mg/l)	17,8	8,9	12,9	5,4	20,1	6,9	15,8	4,9
$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/l)	143,3	65,2	151,1	72,4	173,8	57,6	176,9	61,2
$\text{Na}^+$ (mg/l)	69,4	35,1	61,9	32,3	74,6	15,3	87,4	21,1
$\text{K}^+$ (mg/l)	4,1	0,7	3,4	0,8	4,7	0,8	6,0	0,97
$\text{Ca}^{2+}$ (mg/l)	96,9	17,2	100	14,8	107,5	15,7	111,4	12,2
$\text{Mg}^{2+}$ (mg/l)	29,7	8,4	29,1	7,6	33,8	3,6	33,9	3,9
TSS (kg/d)	3288	1586	226456	95582	269512	209815	481961	252791
Cl <sup>-</sup> (kg/d)	17665	11294	23737	15324	26746	24315	55756	30830
$\text{NO}_3^-$ (kg/d)	4669	3039	4737	2611	8471	9029	9948	5563
$\text{SO}_4^{2-}$ (kg/d)	36377	19705	54548	31066	62977	52411	112691	61801
$\text{Na}^+$ (kg/d)	18006	11198	22778	14300	27532	24700	57412	31750
$\text{K}^+$ (kg/d)	989	228	1196	323	1541	1130	3955	2274
$\text{Ca}^{2+}$ (kg/d)	24563	10421	36578	13139	37854	31686	72230	38647
$\text{Mg}^{2+}$ (kg/d)	7532	3445	10491	3897	11589	9515	22241	12238



**Fig. 4.** Dendrograma resultante del análisis *cluster* realizado.

se incrementaron considerablemente en cada muestreo. La concentración y carga de  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$  aumentaron en las últimas campañas realizadas.  $SO_4^{2-}$  (mg/l) subió ligeramente en los últimos muestreos, pero en términos de carga este aumento fue mucho mayor (tabla IV).

Por otra parte, a nivel espacial el análisis *cluster* realizado (fig. 4) mostró un claro agrupamiento de las estaciones de muestreo en función de su localización geográfica. En el dendrograma, observamos una primera gran división en dos grupos. El primer grupo contenía las estaciones de muestreo situadas más al norte de la zona de estudio y a P19, que es el punto de

muestreo perteneciente a la desembocadura del río Flumen en el Alcanadre. Aunque este conjunto de estaciones forma parte de un mismo *cluster*, se mostró una nueva subdivisión entre P19 y el resto. Asimismo, el otro gran grupo contenía a aquellas estaciones de muestreo situadas en la parte sur del área de estudio. En este caso se observó una nueva subdivisión en el *cluster*, separando P13 del resto de estaciones que comparten grupo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Transferencia de los contaminantes e interpretación de las crecidas*

Atendiendo a los resultados obtenidos en el ACP (tabla II), observamos que el primer componente estuvo caracterizado con un autovalor positivo muy alto ( $> 0,80$ ) para la precipitación total (Pt), la máxima intensidad de la crecida (Imax), la intensidad de la crecida (IF), el volumen total (Wt), los caudales medio y máximo (Qm y Qmax), así como Nt, SSmax, SSt, Clt, SO<sub>4t</sub>, Nat, Kt, Cat y Mgt. En la matriz de correlación de Pearson, y coincidiendo con los resultados del ACP, observamos relaciones significativas positivas entre la precipitación total (Pt), la máxima intensidad de la crecida (Imax), la intensidad de la crecida (IF), el volumen total (Wt), los caudales medio y máximo (Qm y Qmax), Nt, SSmax, SSt, Clt, SO<sub>4t</sub>, Nat, Kt, Cat y Mgt. Basándonos en estos resultados, se podría decir que son estas variables hidrometeorológicas las que regulan el transporte de los parámetros analizados durante las crecidas en la zona de estudio.

En general, se ha observado que las concentraciones más altas de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y del resto de sales disueltas se dieron en los eventos que tuvieron lugar en temporada de no regadío y las más bajas durante la temporada de regadío (tabla I). Sin embargo, en el evento 3 (octubre de 2010) tuvo lugar una elevada concentración de K<sup>+</sup> (14,03 mg/l, tabla I). Ocurre lo contrario en el caso de TSS; su concentración aumenta en los eventos acaecidos en temporada de riegos.

Los patrones de histéresis en sentido horario se originan cuando se producen las mayores concentraciones en la rama ascendente del hidrograma y las concentraciones más bajas en la rama descendente (WOOD, 1977; VANSICKLE y BESCHTA, 1983; GLYSSON, 1987; RIEGER y OLIVE, 1986).

Algunos estudios muestran que los comportamientos horarios ilustran crecidas de larga duración o eventos en los que el nutriente es transportado rápidamente desde su fuente hasta el punto de muestreo, lo que implica que proviene de una fuente cercana dentro de la cuenca (BOWES y cols., 2009). Sin embargo, cuando las concentraciones máximas tienen lugar tras el caudal máximo; en la rama descendente del hidrograma, se da un patrón antihorario (WILLIAMS, 1989). Estos patrones se pueden producir o bien por una movilización lenta de los contaminantes durante la crecida o también podrían indicar una entrada rápida de nutrientes con una concentración menor que la existente en el río (BOWES y cols., 2009).

En este sentido, y tras una primera aproximación a los resultados obtenidos, se ha observado un patrón general de dilución de la concentración de las variables en temporada de regadío, excepto en el caso de la concentración media de  $K^+$ . ABRAHÃO y cols. (2011) mostraron una relación negativa significativa entre la precipitación y la concentración de  $NO_3^-$ , lo que sugiere un efecto de dilución producido por los flujos de retorno de regadío.

En el caso de febrero de 2010 (evento 1) todas las variables siguieron un comportamiento antihorario excepto TSS. El abonado de cobertera para el trigo, la cebada y el maíz se lleva a cabo durante este mes. Del mismo modo, en noviembre de 2010 (evento 4) todos los parámetros siguieron un comportamiento antihorario excepto TSS. Durante estas fechas es cuando se lleva a cabo el abonado de fondo para el trigo en la zona de estudio. En ambos casos, al observar el similar dato de intensidad ( $IF = 0,12 \text{ m}^3/\text{min}^2$  para el evento 1 e  $IF = 0,14$  para el evento 4) de cada crecida y las lluvias antecedentes podrían explicar el comportamiento horario de TSS al no provocar un arrastre de sólidos muy elevado. Sin embargo, en el evento 12, que se produjo en noviembre de 2012, el bucle de histéresis para TSS tuvo una dirección horaria (figs. 2 y 3). La diferencia radica en el gran caudal y precipitaciones antecedentes para esta crecida ( $Qa = 146,55 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $P5d = 3,55$  milímetros). Estos datos antecedentes hacen referencia a la crecida que tuvo lugar con anterioridad, en octubre de 2012. En este caso se trató de un evento con una elevada intensidad ( $IF = 14,93 \text{ m}^3/\text{min}^2$ ) y elevada precipitación ( $Pt = 105,58$  milímetros) (tabla 1) que provocó patrones horarios para TSS,  $NO_3^-$  y  $Cl^-$ .

También en el octavo evento (abril de 2012), todas las variables siguieron una tendencia antihoraria, coincidiendo con el abonado de fondo para

el maíz y el arroz (figs. 2 y 3). En este caso, el caudal de base fue el menor de los registrados ( $Q_b = 1,78 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y la precipitación antecedente nula (tabla 1). La concentración de TSS es la más alta de todas las crecidas estudiadas, pero el dato de precipitación total no fue muy elevado ( $P_t = 20,44$  milímetros). Dado que esta crecida tuvo lugar al inicio de la temporada de regadío cuando los caudales no son elevados, y teniendo en cuenta que en la zona de estudio el abonado de fondo para el arroz y el maíz se lleva a cabo en torno a estas fechas, el efecto combinado de la fertilización y la ausencia de precipitaciones pudo causar la acumulación de dichas variables en el suelo, produciendo las lluvias su lixiviación y movilizándose lentamente hacia el río. Debido a esto, el máximo de concentración llega más tarde que el máximo de caudal y produce un bucle antihorario (WILLIAMS, 1989). La elevada concentración de TSS pudo ser causada también por este efecto *arrastré* de las precipitaciones dado que la intensidad de la crecida fue la más alta de todas las registradas ( $IF = 1,27 \text{ m}^3/\text{min}^2$ ). Un caso similar ocurrió con marzo de 2011 (evento 5) exceptuando  $\text{NO}_3^-$ , todas las variables tuvieron un comportamiento antihorario (figs. 2 y 3). En este caso, el caudal de base también fue bajo ( $Q_b = 2,73 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y la precipitación total fue similar a la del evento 8 ( $P_t = 20,72$  milímetros) (tabla 1). Durante este mes se realiza el abonado de cobertera para el trigo utilizando nitrógeno líquido, por lo que el patrón horario seguido por  $\text{NO}_3^-$  pudo deberse a proceder de fuentes cercanas a la estación de muestreo (BOWES y cols., 2009).

En el caso del evento 9 (mayo de 2012), todas las variables siguieron una tendencia antihoraria excepto  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  (figs. 2 y 3). La elevada precipitación antecedente ( $P_{1d} = 11,73$  milímetros,  $P_{5d} = 0,21$  milímetros y  $P_{10d} = 2,15$  milímetros), así como el caudal antecedente ( $Q_a = 18,34$ ) (tabla 1), pudieron influir en la dilución de la mayoría de las variables, provocando este patrón antihorario mayoritario (WILLIAMS, 1989).

Observando el evento 6 (marzo de 2011) y teniendo en cuenta que tuvo lugar con pocas horas de diferencia con respecto el evento 5, el cambio a un comportamiento horario de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  (figs. 2 y 3) pudo deberse a su agotamiento tras la crecida precedente (WILLIAMS, 1989).

En junio de 2011 (evento 7) todas las variables siguieron un patrón horario. Al tener lugar durante la estación de regadío, los flujos de retorno de riego pudieron provocar un transporte rápido de los contaminantes

durante la crecida. Un caso similar es el de julio de 2012 (evento 10), que también tiene lugar durante la estación de riego y todas las variables siguen un bucle horario excepto  $\text{Na}^+$  (figs. 2 y 3).

En el evento 2 (junio de 2010) TSS,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{Cl}^-$  mantuvieron un comportamiento antihorario mientras que el patrón seguido por el resto de sales fue horario (figs. 2 y 3). En este caso, el efecto conjunto del abonado de cobertera para la alfalfa y el maíz, el rápido transporte provocado por los flujos de riego y la elevada duración de la crecida ( $\text{FD} = 333 \text{ h}$ ) pudieron influir el comportamiento horario de estas variables (BOWES y cols., 2009).

En el evento 3 (octubre de 2010) TSS,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{Cl}^-$  siguieron un comportamiento antihorario, mientras que el patrón seguido por el resto de sales fue horario (figs. 2 y 3). En este evento, tanto el caudal como la precipitación antecedente fueron los más elevados de todos los eventos estudiados. Asimismo, la precipitación total de toda la cuenca fue la más alta de las cuatro crecidas. La explicación para la tendencia antihoraria de TSS,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{Cl}^-$  puede proceder de las fechas en las que tuvo lugar, al final de la temporada de regadío. En este caso, al final de esta época, los caudales son más bajos y las concentraciones más altas, provocando que las concentraciones máximas de estas variables aparezcan tras el caudal máximo (WILLIAMS, 1989).

### *Patrón espacio-temporal de la calidad del agua*

Los resultados obtenidos a partir del análisis *cluster* (fig. 4) revelaron que la calidad del agua en la zona de estudio sigue un patrón de variación espacial relacionado con los usos del suelo adyacentes.

De acuerdo con las características del agua analizadas, dos grandes zonas pueden ser distinguidas. La parte norte del área de estudio con una mejor calidad del agua y la parte sur con un mayor nivel de contaminación provocado por la acumulación de los aportes agrícolas a lo largo del curso del río por la zona. Esta gran división está relacionada con el nivel de contaminación del agua del río y con el aumento de la intensidad en las prácticas agrícolas.

Estos resultados coinciden y amplían los de MARTÍN-QUELLER y cols. (2010), que indicaron que las principales fuentes contaminantes en el río Flumen eran aquellas procedentes de la zona agrícola.

Asimismo, aunque la estación de muestreo P19 se localiza en el punto más al sur del área de estudio, al pertenecer al río Alcanadre, los elevados caudales en comparación con los del río Flumen provocan una dilución de las concentraciones de los parámetros estudiados que ocasionan su situación en el dendrograma, separada del resto.

Sin embargo, la distribución de los agrupamientos de las estaciones de muestreo en la zona de estudio no se atribuye a un simple cambio de las características del agua del río como un proceso a través del cual se disuelven iones y compuestos particulados, sino que refleja el impacto del uso de suelo agrícola incrementando significativamente las concentraciones de determinadas variables.

Por otra parte, y observando los resultados reflejados en la tabla IV, se encontraron variaciones estacionales en términos de concentración y carga de las variables analizadas. Este hecho está relacionado con los aportes de los flujos de retorno de regadío que, como se ha comentado anteriormente, tienen una enorme influencia en la zona.

En general, la temporada de regadío provocó un aumento en la concentración y carga de TSS. Sin embargo, en el caso de las sales disueltas, se observó un efecto de dilución de las concentraciones en relación con los aportes del regadío mientras que, en general, su carga aumentó.

Los resultados obtenidos mostraron la influencia del uso de suelo agrícola en términos de ubicación de las estaciones muestreadas y en función de las fechas en las cuales se llevaron a cabo las campañas de campo.

## CONCLUSIONES

La calidad del agua en el río Flumen muestra variaciones espaciales, estacionales y eventuales relacionadas con los episodios de crecida. A medida que el río se adentra en la zona de agricultura de regadío intensivo, se produce un aumento en la concentración de compuestos contaminantes de origen agrícola. Durante la temporada de regadío las concentraciones de sales disueltas y sólidos en suspensión son menores que durante el periodo de no regadío, debido al efecto de dilución, pero su descarga aumenta poniendo de manifiesto las entradas procedentes de las actividades agrícolas.



En el caso de las crecidas, se puede decir que también provocan cambios en los parámetros indicadores de la calidad del agua que han sido estudiados. Los factores hidrometeorológicos influyen en gran medida en el transporte de los contaminantes, así como la época del año y, por lo tanto, las actividades agrícolas asociadas.

El estudio de los ciclos de histéresis de los compuestos del agua en relación con el caudal (C-Q) permite identificar diferentes patrones relacionados con los usos agrícolas. Es por esto por lo que, en función del sentido de la curva de histéresis (horario o antihorario), y a partir del conocimiento de la zona de estudio (itinerarios agrícolas, cultivos, épocas de abonado y productos utilizados), es posible identificar la fuente contaminante e interpretar el recorrido y transferencia de las variables analizadas. El conocimiento íntegro de la información relacionada con el transporte de los nutrientes y sólidos en suspensión será esencial a la hora de tomar medidas para minimizar los efectos de la degradación de la calidad del agua y para que estas medidas sean efectivas.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con una Ayuda de Investigación del Instituto de Estudios Altoaragoneses en su convocatoria de 2013. Asimismo, contó con el apoyo proporcionado por el proyecto AGUAFLASH (EU Interreg IV B SUDOE Programme [SOE1/P2/F146]) y el proyecto LIFE09 ENV/ES/000431 CREAMAgua, este último liderado por la comarca de Los Monegros a la que agradecemos su interés y su colaboración. A la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y a la Oficina del Regante del Gobierno de Aragón, la facilitación de datos; a Mercedes García y Alberto Barcos su asistencia en laboratorio, y a Silvia G. Eisman, su ayuda esencial en los trabajos de campo.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22<sup>nd</sup> ed. American Public Health Association. Washington D. C.
- ABRAHÃO, R., J. CAUSAPÉ, I. GARCÍA-GARIZÁBAL y D. MERCHÁN (2011). Implementing irrigation: Salt and Nitrate exported from the Lerma basin (Spain). *Agricultural Water Management*, 102: 105-112.

- BOWES, M. J., J. T. SMITH y C. NEAL (2009). The value of high-resolution nutrient monitoring: A case study of the River Frome, Dorset, UK. *Journal of Hydrology*, 378: 82-96.
- BUDA, A. R., y D. R. DEWALLE (2009). Dynamics of stream nitrate sources and flow pathways during stormflows on urban, forest and agricultural watersheds in central Pennsylvania, USA. *Hydrological Processes*, 23: 3292-3305.
- BUTTURINI, A., F. GALLART, J. LATRON, E. VÁZQUEZ y F. SABATER (2006). Cross-site comparison of variability of DOC and nitrate c-q hysteresis during the autumn-winter period in three Mediterranean headwater streams: a synthetic approach. *Biogeochemistry*, 77: 327-349.
- ELÓSEGUI, A., y A. BUTTURINI (2009). El transporte de los materiales inorgánicos disueltos y particulados. En A. Elósegui y S. Sabater, *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*: 83-96. Fundación BBVA. Bilbao.
- GLYSSON, G. D. (1987). *Sediment-transport Curves*. U. S. Geological Survey. Reston. Open-File Report.
- HAIR, J. F., W. C. BLACK, B. J. BABIN, R. ANDERSON y R. TATHUM (2006). *Multivariate Data Analysis*. 6<sup>th</sup> ed. Prentice Hall International, Inc. Upper Saddle River.
- KANG, S., y H. LIN (2007). Wavelet analysis of hydrological and water quality signals in an agricultural watershed. *Journal of Hydrology*, 338 (1-2): 1-14.
- KUIPER, F. K., y L. FISHER (1975). A Monte Carlo comparison of six clustering procedures. *Biometrics*, 31: 777-783.
- MARTÍN-QUELLER, E., D. MORENO-MATEOS, C. PEDROCCHI, J. CERVANTES y G. MARTÍNEZ (2010). Impacts of intensive agricultural irrigation and livestock farming on a semi-arid Mediterranean catchment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 167: 423-435.
- MCDIFFET, W. F., A. W. BEIDLER, T. F. DOMINICK y K. D. MCCREA (1989). Nutrient concentration-stream discharge relationship during storm events in a first-order stream. *Hydrobiologia*, 179 (2): 97-102.
- NIEMI, G., P. DEVORE, N. DETENBECK, D. TAYLOR, A. LIMA y J. PASTOR (1990). Overview of case studies on recovery of aquatic systems from disturbance. *Environmental Management*, 14 (5): 571-587.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2011). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. The R Foundation for Statistical Computing (<http://www.R-project.org>). Viena (Austria). URL <http://www.R-project.org/>
- RIEGER, W. A., y L. J. OLIVE (1986). Sediment responses during storm events in small forested watersheds. En A. H. El-Shaarawi y R. E. Kwiatkowski (eds.), *Developments in Water Science*, 27: 490-498. Elsevier. Amsterdam.

- ROYER, T. V., M. B. DAVID y L. E. GENTRY (2006). Timing of riverine export of nitrate and phosphorus from agricultural watersheds in Illinois: implications for reducing nutrient loading to the Mississippi River. *Environmental Sciences and Technology*, 40: 4126-4131.
- VANSICKLE, J., y R. L. BESCHTA (1983). Supply-based models of suspended sediment transport in streams. *Water Resources Research*, 19: 768-778.
- WAGNER, L. E., P. VIDON, L. P. TEDESCO y M. GRAY (2008). Stream nitrate and DOC dynamics during three spring storms across land uses in glaciated landscapes of the Midwest. *Journal of Hydrology*, 362: 177-190.
- WILLIAMS, G. P. (1989). Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers. *Journal of Hydrology*, 111 (1-4): 89-106.
- WOOD, P. A. (1977). Controls of variation in suspended sediment concentration in the River Rother, West Sussex, England. *Sedimentology*, 24: 437-445.



## GENÉTICA DE LAS POBLACIONES IBÉRICAS DE TRUFA NEGRA (*TUBER MELANOSPORUM*)

Iván GARCÍA-CUNCHILLOS<sup>1</sup>  
Sergio SÁNCHEZ<sup>2</sup>  
Juan José BARRIUSO<sup>1,2</sup>  
Ernesto PÉREZ-COLLAZOS<sup>1</sup>

RESUMEN.— La trufa negra tiene una gran importancia económica y social. En el presente artículo de divulgación científica se muestran, de manera sencilla y breve, los resultados obtenidos en el primer estudio genético conducido sobre poblaciones ibéricas silvestres de *Tuber melanosporum*. Se ha detectado una elevada diversidad genética, que muestra el buen estado de conservación genética, así como una alta estructura genética entre poblaciones y una clara diferenciación entre los núcleos geográficos del noreste y suroeste de la península ibérica, motivadas por la presencia del Sistema Ibérico, que puede estar actuando como barrera genética. Por otra parte, los resultados permiten pensar que la mayoría de las poblaciones meridionales, y algunas del centro y norte, sobrevivieron a las glaciaciones. Este artículo constituye la base de trabajos sobre expresión diferencial de aromas, conservación de la especie y desarrollo de marcas de calidad ligadas a este producto.

ABSTRACT.— The black truffle has a big economic and social relevance. This scientific divulgation paper shows, in a brief and easy way, the results

---

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. igarcun@gmail.com, ernextop@unizar.es

<sup>2</sup> Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria. Gobierno de Aragón. Avenida de Montañana, 930. E-50059 ZARAGOZA. ssanchezd@aragon.es, barriuso@unizar.es

of the first genetic population assay conducted over Spanish natural populations of *Tuber melanosporum*. High genetic diversity has been detected, showing a good genetic conservation status of the species. Clear genetic differentiation among populations and between north-east and south-east geographical ranges of the Iberian Peninsula has been detected. This last might be a consequence of the presence of the Sistema Ibérico Mountains, which might be acting as a genetic barrier. On the other hand, our results showed that most of the southern populations, as also some of the center and northern ones, have survived to glacial periods. This study is the basis of forward researches on flavor expression, conservation of the species and development of quality marks related to this product.

KEY WORDS.— Evolutionary history, genetic diversity and structure, ISSR, molecular markers, *Tuber melanosporum*, Iberian Peninsula.

## INTRODUCCIÓN

La trufa negra es un hongo cuyo cuerpo fructífero (parte del hongo donde se producen las esporas sexuales) se desarrolla completamente bajo el suelo. El intenso aroma que desprende, así como su característico sabor, hacen de él uno de los manjares más apreciados en la cultura gastronómica. Presenta una morfología globosa, irregular y de tamaño variable. Externamente se encuentra recubierta por una capa (peridio) de color negro y brillante que la protege, e internamente es carnosa, con una coloración purpúreo-negrucza recorrida por numerosas venas blanquecinas (gleba) (REYNA, 2011). Su nombre científico es *Tuber melanosporum* Vittad. La enorme demanda de este producto lo ha convertido en objeto de diversos estudios encaminados a conocer su ciclo biológico, su cultivo y sus características organolépticas, entre otros. Se trata, además, de una especie que necesita vivir en simbiosis con ciertos árboles, de los que los más abundantes en la península ibérica son la encina (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* [Desf.] Samp.), el quejigo (*Quercus faginea* Lam.) y la coscoja (*Quercus coccifera* L.). El resultado visible de su asociación con el árbol hospedador son las micorrizas. Estos órganos son el lugar de intercambio de nutrientes entre ambos *socios*. El árbol ofrecerá ciertos productos derivados de la fotosíntesis y el sustrato adecuado para que el hongo crezca, mientras que el hongo favorecerá la captación de agua y nutrientes por parte del árbol (REYNA, 2011).

El ciclo biológico de este hongo es complicado y no está exento de debate en la comunidad científica y en el sector productor. A modo de resumen,

a partir de una espora, emerge un micelio que va colonizando el suelo hasta encontrar una raíz fina de un árbol con la que asociarse. Una vez establecidas las micorrizas en las raíces del árbol hospedador, y por causas aún desconocidas, se produce la formación de un primordio, como consecuencia de la unión de micelios de dos individuos diferentes y sexualmente compatibles. Este primordio dará lugar a una pequeña trufa que irá creciendo hasta madurar, momento en el que produce su aroma característico; es este un reclamo adaptativo para roedores y jabalíes, quienes las consumen y posteriormente diseminan sus esporas en las heces, comenzando así un nuevo ciclo biológico (REYNA, 2011).

La trufa negra se desarrolla exclusivamente sobre suelos calizos y en climas de tipo mediterráneo con sequía estival, atenuada por fenómenos tormentosos. Así pues, la distribución geográfica de la especie está reducida a escasos países de la cuenca del Mediterráneo. Las poblaciones más extensas se encuentran principalmente en Italia, Francia y España. En este último, ocupa sobre todo las sierras prepirenaicas, el Sistema Ibérico, la cordillera costero-catalana y las cordilleras béticas (en torno a la sierra de Segura) (REYNA, 2011). Sin embargo, debido a su importancia económica y a la posibilidad de establecer plantaciones de árboles previamente micorrizados en vivero, en los últimos años se han realizado numerosas introducciones en diferentes países (MURAT y cols., 2004; RICCIONI y cols., 2008; GARCÍA-CUNCHILLOS y cols., 2014).

La enorme presión de recolección a que se ve sometida esta especie está haciendo disminuir de manera dramática su presencia en nuestros bosques. En cien años ha bajado de 1000 toneladas hasta las 50 (aproximadamente) que se recolectan hoy en día en España. Aunque este descenso está siendo frenado por la producción de trufa cultivada, esta práctica no tiene en cuenta la procedencia del material fúngico introducido, por lo que puede influir seriamente en el estado de conservación de los recursos genéticos silvestres, que son el reservorio de la variabilidad propia de la especie.

La genética de poblaciones es una rama de la biología que estudia la diversidad, la estructura y las características propias de cada individuo que compone una población, desde un punto de vista genético. Permite determinar niveles de diversidad genética (en una población y entre grupos de poblaciones), establecer relaciones entre individuos, estimar el flujo génico

(migración de genes de una población a otra o de una generación a otra), fijar la estructura genética de las poblaciones (manera como se reparte la variabilidad genética entre poblaciones o áreas geográficas), determinar cuáles son las poblaciones o individuos más singulares y, por tanto, diseñar planes de conservación sobre las poblaciones *in situ* o *ex situ* (bancos de genes, toma de esporas para repoblar, entre otros) (PÉREZ-COLLAZOS, 2012). Además, la genética poblacional permite esclarecer procesos evolutivos (naturales o derivados de la acción del ser humano) que hayan podido actuar sobre las poblaciones estudiadas. Con el fin de obtener esta información, se utilizan una serie de herramientas denominadas *marcadores moleculares* (segmento de ADN o proteína cuya herencia genética se puede rastrear), los cuales son capaces de detectar variaciones en las secuencias de ADN (polimorfismos). Para el desarrollo de este trabajo se seleccionaron los *marcadores moleculares Inter Simple Sequence Repeats* (ISSR), que localizan polimorfismos a lo largo del ADN nuclear (PÉREZ-COLLAZOS, 2012). Estos marcadores demostraron una elevada capacidad de detectar variabilidad genética, eran de rápida aplicación, no excesivamente costosos, y fueron capaces de generar resultados con repetitividad y fiabilidad altas.

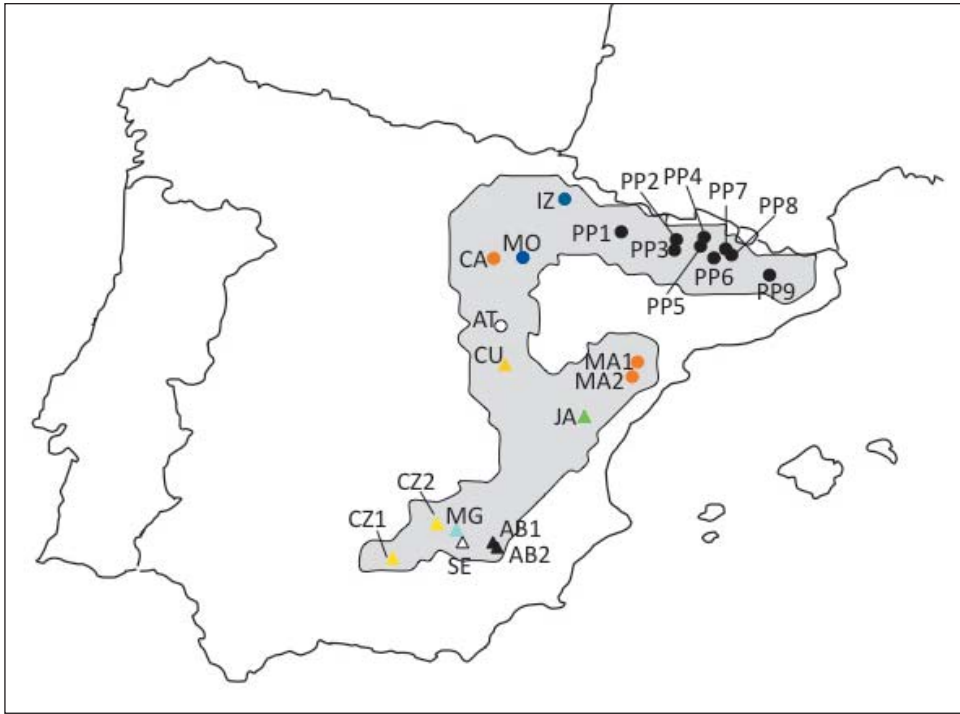
A pesar de que las relaciones genéticas entre poblaciones de trufa negra han sido estudiadas en Francia e Italia (MURAT y cols., 2004; RICCONI y cols., 2008), en España hasta el momento no se había realizado ningún estudio de este tipo; por tanto, esta investigación constituye la primera aproximación al conocimiento de la evolución, la diversidad y la singularidad genéticas y el estado de conservación de las poblaciones ibéricas de *Tuber melanosporum*. Este artículo de difusión pretende dar a conocer los resultados y conclusiones más importantes de nuestra investigación de una manera sencilla. Sin embargo, para el lector que desee profundizar más se recomienda la lectura del artículo de GARCÍA-CUNCHILLOS y cols. publicado en la revista *Mycorrhiza* (2014).

## MATERIAL Y MÉTODOS

### *Poblaciones muestreadas*

Se muestrearon un total de 190 individuos (cuerpos fructíferos) de 23 poblaciones silvestres diferentes de trufa negra, abarcando casi todo el rango de distribución de la especie en la península ibérica (fig. 1, tabla 1).





**Fig. 1.** Localización de las 23 poblaciones de trufa negra muestreadas en el estudio. En gris se muestra el área potencial de presencia de *Tuber melanosporum* en la península ibérica. Véase la tabla I para identificar las localidades correspondientes a cada código.

Una vez recolectado el material, se procedió a ratificar que este se correspondía con la especie *Tuber melanosporum* (identificación macroscópica y microscópica) y a limpiarlo, incluyendo la eliminación de posibles microorganismos que pudieran interferir en el estudio. El cuerpo fructífero se cortó en trozos pequeños, se liofilizó y se conservó a  $-80^{\circ}\text{C}$ .

#### *Aplicación de la técnica molecular (ISSR)*

Se extrajo el ADN nuclear de los trozos de gleba liofilizados de los diferentes individuos. Posteriormente, se aplicó la técnica molecular ISSR. Esta basa su funcionamiento en la amplificación de secuencias aleatorias del ADN mediante una reacción en cadena de la polimerasa (PCR). Los cebadores empleados fueron secuencias cortas (di- o trinucleótidos) repetidas

tres o cuatro veces. Los fragmentos se separaron mediante electroforesis en geles de agarosa, en la que los diferentes fragmentos de ADN migran del polo negativo al polo positivo, con una velocidad que depende de su tamaño. De esta manera, se obtiene un gel con diferentes bandas comparables entre los distintos individuos. La lectura del gel es simple, se codifica la presencia de una banda como 1 y la ausencia como 0 en cada individuo, obteniendo así una matriz binaria (1-0).

A partir de esta matriz binaria se realizan los análisis estadísticos en diferentes programas diseñados para ello, como se verá a lo largo del apartado siguiente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Diversidad genética*

La diversidad genética permite conocer la variabilidad existente entre diferentes individuos y agrupaciones de individuos de acuerdo con su rango geográfico o taxonomía. El índice de diversidad genética de Nei es un índice cuyo rango determina la diversidad genética entre los individuos de una población: 0 es la ausencia de diversidad y 1 su máximo. Este índice mostró un nivel moderado de variabilidad genética en las poblaciones ibéricas estudiadas ( $h_N = 0,393$ , tabla 1). No obstante, dicho valor es superior al detectado en los estudios genéticos de las poblaciones francesas e italianas, lo que corrobora la mayor diversidad genética de las ibéricas y el buen estado de conservación genético en el que se encuentran (MURAT y cols., 2004; RICCIONI y cols., 2008; GARCÍA-CUNCHILLOS y cols., 2014).

Los índices de diversidad estudiados muestran que las áreas geográficas con mayor diversidad genética son las sierras meridionales de Cuenca, Jaén, Murcia, Albacete y Castellón (tabla 1). No obstante, otras poblaciones centrales y septentrionales presentan niveles de diversidad altos; entre ellas, sobresalen las de la sierra de Loarre (PP1), Graus 2 (PP3), Osona (PP9) y Moncayo (MO). Las de Lérida ofrecieron una diversidad genética inferior a la media del resto de las poblaciones. Por otra parte, las de las sierras de Cazorla y de Mágina, en Jaén, y la sierra de Izco, en Navarra, mostraron fragmentos exclusivos, lo que indica la singularidad genética de esas poblaciones (tabla 1).

Por todo lo anterior, los planes de conservación de la especie deberían incluir un banco de germoplasma en el que se cuente con muestras de las poblaciones más diversas genéticamente (PP1, CU, CZ1, MA2, PP9, PP3 y AB2), así como de la población singular de Navarra (IZ). Por otra parte, se debería prestar especial atención a la fragmentación de bosques, que afecta en algunos casos a las poblaciones naturales de *Tuber melanosporum*.

**Tabla 1.** Localización y diversidad genética de las poblaciones estudiadas de *Tuber melanosporum*.

Provincia	Localización	Código	N	$h_N$	$f_e$	$f_d$
Huesca	Sierra de Loarre	PP1	4	0,797	0	0
Huesca	Graus 1	PP2	9	0,285	0	0
Huesca	Graus 2	PP3	10	0,326	0	0
Lérida	Sierra de Comillini	PP4	2	0,203	0	0
Lérida	Sierra de San Gervasio	PP5	8	0,250	0	0
Lérida	Sierra de Carreu	PP6	7	0,297	0	0
Lérida	Alt Urgell 1	PP7	12	0,266	0	0
Lérida	Alt Urgell 2	PP8	2	0,272	0	0
Barcelona	Osona	PP9	7	0,353	0	0
Navarra	Sierra de Izco	IZ	14	0,281	1	1
Soria	Sierra de Cabrejas	CA	12	0,296	0	0
Soria	Sierra del Moncayo	MO	7	0,301	0	0
Castellón	Sierra de Matarraña 1	MA1	7	0,324	0	0
Castellón	Sierra de Matarraña 2	MA2	9	0,354	0	0
Castellón	Sierra de Javalambre	JA	6	0,379	0	0
Guadalajara	Alto Tajo	AT	11	0,292	0	0
Cuenca	Serranía de Cuenca	CU	6	0,668	0	0
Albacete	Sierra de Segura	SE	6	0,326	0	0
Jaén	Sierra de Cazorla 1	CZ1	8	0,347	1	0
Jaén	Sierra de Cazorla 2	CZ2	10	0,340	1	0
Jaén	Sierra de Mágina	MG	13	0,293	1	0
Murcia	Sierras de los Álamos y del Buitre 1	AB1	10	0,306	0	0
Murcia	Sierras de los Álamos y del Buitre 2	AB2	11	0,312	0	0
		Total	190	0,393	—	—

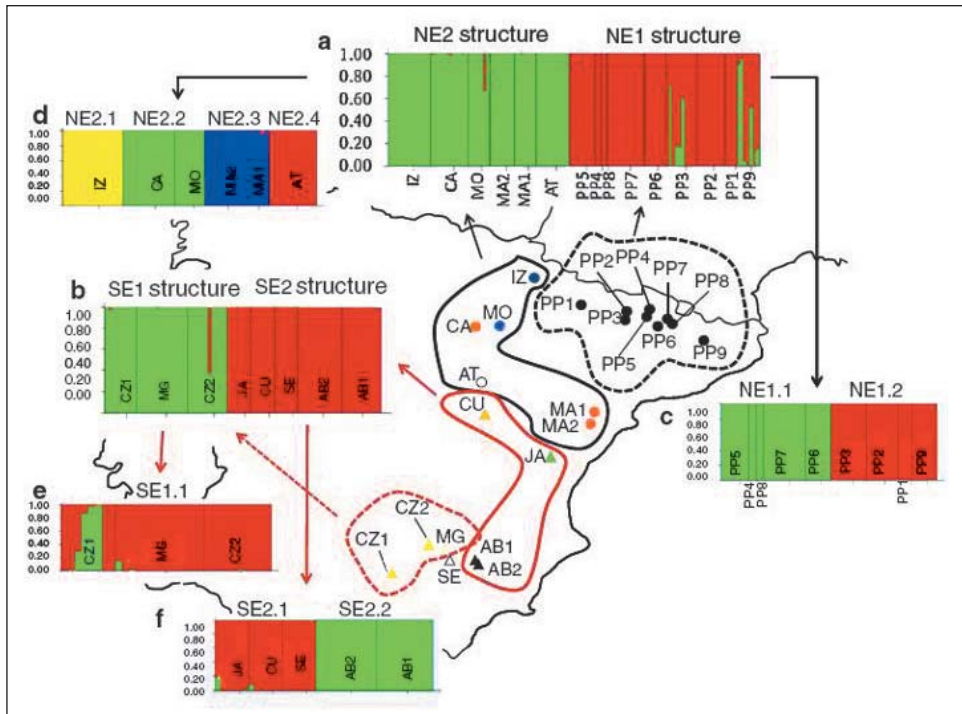
N = número de individuos,  $h_N$  = índice de diversidad genética de Nei,  $f_e$  = fragmentos exclusivos,  $f_d$  = fragmentos diagnósticos.

### *Estructura genética*

La estructura genética permite conocer la manera como se encuentra distribuida la diversidad genética entre las poblaciones que componen una especie determinada. Se puede estimar a través de varias metodologías, como el análisis de varianza molecular (AMOVA) o algoritmos matemáticos bayesianos que permiten una mayor resolución. Un programa estadístico que facilita realizar estos análisis es el STRUCTURE. Los resultados mostraron que las poblaciones ibéricas presentan una elevada estructura genética (el 47,89% de la variabilidad se debe a diferencias entre poblaciones), lo que indica un cierto aislamiento genético y confirma su singularidad genética. Nuestros resultados contrastan con los obtenidos en poblaciones francesas e italianas (MURAT y cols., 2004; RICCIONI y cols., 2008), donde la estructura genética no es tan pronunciada como en el caso de las ibéricas, lo que indicaría un mayor flujo génico entre aquellas y, por tanto, una menor singularidad, o posiblemente un origen más reciente que el de las poblaciones ibéricas.

Los resultados bayesianos de estructura genética muestran una clara separación entre las poblaciones del noreste (NE) y sureste (SE) de la península ibérica (fig. 2). Esta diferenciación genética puede deberse a la presencia de una gran barrera física como es el Sistema Ibérico. A su vez, las poblaciones del noreste se subestructuran en dos grupos: NE1, que abarca las de Navarra, Soria, Guadalajara y Matarraña, y NE2, que incluye las poblaciones prepirenaicas de Barcelona, Lérida y Huesca (fig. 2). Hilando más fino, la estructura genética de cada uno de estos dos grupos se puede subdividir tal como lo indican las figuras 2a y 2b, donde cada color indica una estructura genética diferenciada de las demás, por tanto, mostrando la singularidad genética de las poblaciones de la sierra de Izco (IZ) y del alto Tajo (AT), así como la diferenciación entre las poblaciones de Soria y de la sierra de Matarraña (fig. 2a), y la estructuración entre Lérida y Huesca (fig. 2b).

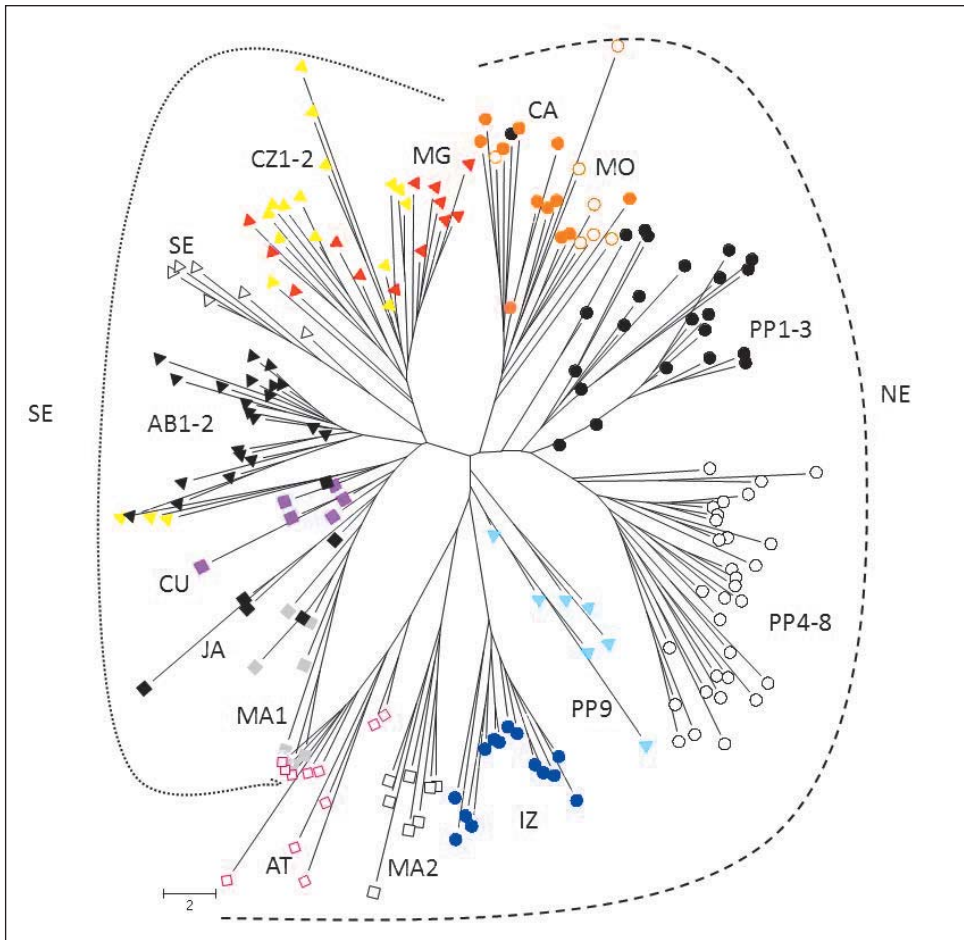
Dentro del grupo sureste, se distinguen igualmente dos subgrupos: SE1, integrado por las poblaciones de las sierras de Cazorla y de Mágina, y SE2, conformado por las poblaciones de las sierras de los Álamos y del Buitre, Segura, Javalambre y Cuenca (fig. 2). El programa STRUCTURE fue capaz de detectar una subestructuración genética en este último grupo, que mostraba la diferenciación genética de las poblaciones de Murcia (sierras de los Álamos y del Buitre, fig. 2c).



**Fig. 2.** Estructura genética de las poblaciones de *Tuber melanosporum*. El programa STRUCTURE detecta dos estructuras genéticas en la península ibérica: NE (en negro) y SE (en rojo). A su vez infiere dos subestructuras en el NE (PP1-PP9 y AT, MA1-2, CA, MO, IZ) y dos en el SE (JA, CU, SE, AB1-2 y CZ1-2, MG). La figura a muestra la subestructura del grupo NE1 (AT, MA1-2, CA, MO, IZ), la figura b muestra la subestructura del grupo NE2 (PP1-9) y la figura c muestra la subestructura del grupo SE1 (JA, CU, SE, AB1-2). Las poblaciones se indican en el eje de las abscisas y la proporción de pertenencia a cada grupo en el eje de las ordenadas. Véase la tabla 1 para identificar las localidades correspondientes a cada código.

*Relaciones genéticas entre individuos y poblaciones*

Con el fin de conocer las relaciones genéticas entre individuos, se estimaron las distancias genéticas entre ellos y se visualizaron mediante la construcción de un árbol *neighbour-joining* (fig. 3). Dicho análisis muestra una agrupación de individuos de una misma población, lo que indica la alta relación genética existente entre ellos. Por otra parte, se aprecia claramente la separación entre las poblaciones del noreste y el sureste de la península ibérica, lo que concuerda con la elevada estructura genética



**Fig. 3.** Árbol *neighbour-joining* que muestra la elevada estructura genética entre los diferentes individuos de *Tuber melanosporum* y su relación genética en la península ibérica. Véase la tabla 1 para identificar las localidades correspondientes a cada código.

encontrada (fig. 2) y los bajos niveles de flujo génico detectados (resultados no mostrados).

### *Historia evolutiva*

La actual distribución geográfica de *Tuber melanosporum* ha sido descrita como consecuencia de un proceso de cuello de botella durante la última

glaciación, hace aproximadamente unos 10 000 – 16 000 años. En este proceso, las poblaciones de trufa negra se habrían reducido a las zonas más meridionales de Europa (especialmente España e Italia). Tras este declive poblacional y el subsiguiente inicio de un periodo interglaciar, se produciría una rápida expansión de la especie hacia el norte. Esta teoría se basa en encontrar poblaciones con mayores niveles de diversidad genética en localizaciones geográficas más meridionales (MURAT y cols., 2004; RICCONI y cols., 2008). Los resultados obtenidos en este estudio muestran, en general, mayores niveles de diversidad genética en poblaciones del sur de España, que corroboran dicha hipótesis (GARCÍA-CUNCHILLOS y cols., 2014). Sin embargo, algunas poblaciones de distribución más septentrional muestran niveles de variabilidad similares o incluso mayores a los de las meridionales. Estos resultados parecen indicar una reminiscencia de algunas poblaciones (Cuenca, Jaén, Murcia, Albacete, sierra de Matarraña 2 y Huesca), que podrían haber actuado como refugios glaciares de la especie para, posteriormente, expandirse hacia otras áreas. Esta expansión no tendría que producirse necesariamente hacia el norte (como hasta ahora se postulaba), sino más bien en función de la existencia de especies arbóreas simbioses y de suelo calizo (requisitos ambos obligatorios para la presencia de la especie).

El hecho de encontrar una alta estructura genética en la mayoría de las poblaciones apoya el largo periodo de tiempo que estas se han mantenido aisladas entre sí y, por tanto, sugiere que la mayor parte de las de la península ibérica han podido mantenerse, ya sea en pequeños reductos vivos o como cuerpos fructíferos congelados en el suelo durante las glaciaciones.

## CONCLUSIONES

Recapitulando la información presentada en este artículo, se puede concluir que las poblaciones ibéricas de trufa negra muestran un elevado nivel de diversidad genética, por lo que indican un buen estado de conservación. Por otra parte, se ha detectado una elevada estructura genética entre las poblaciones estudiadas, que separa el total de poblaciones en dos grupos geográficos diferenciados (noreste y sureste de la península ibérica), divididas por el Sistema Ibérico. A su vez, se ha detectado una subestructuración

genética que muestra la singularidad de algunas poblaciones como sierra de Izco (IZ), alto Tajo (AT), Matarraña (MA1-2) y los Álamos y el Buitre (AB1-2); por tanto, con fines de conservación genética dichas poblaciones deben ser consideradas como unidades genéticas diferentes al resto de las poblaciones.

Los resultados concuerdan con una reducción de la distribución de la especie en la última glaciación, a la que habrían sobrevivido posiblemente varias poblaciones (tanto meridionales como septentrionales), expandiéndose posteriormente según la disponibilidad de suelo calizo y especies arbóreas simbiotas.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Beatriz Águeda, Jordi Bonet, Santiago Estopiñán, Juan Estrada, Vicente Girón, Eloy Martínez, Pere Muxí, Daniel Oliach, Eliseo Palomar y Raimundo Sáez su ayuda en el trabajo de muestreo en campo.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GARCÍA-CUNCHILLOS, I., S. SÁNCHEZ, J. J. BARRIUSO y E. PÉREZ-COLLAZOS (2014). Population genetics of the westernmost distribution of the glaciations-surviving black truffle *Tuber melanosporum*. *Mycorrhiza*, 24: 89-100.
- MURAT, C., J. Díez, P. LUIS, C. DELARUELLE, C. DUPRÉ, G. CHEVALIER, P. BONFANTE y F. MARTÍN (2004). Polymorphism at the ribosomal DNA ITS and its relation to postglacial recolonization routes of the Perigord truffle *Tuber melanosporum*. *New Phytologist*, 164: 401-411.
- PÉREZ-COLLAZOS, E. (2012). *Marcadores moleculares y conservación de especies amenazadas*. Editorial Académica Española. Berlín. 64 pp.
- REYNA, S. (2011). *Truficultura. Fundamentos y técnicas*. Mundi-Prensa. Madrid. 720 pp.
- RICCIONI, C., B. BELFIORI, A. RUBINI, V. PASSERI, S. ARCIONI y F. PAOLOCCI (2008). *Tuber melanosporum* outcrosses: analysis of the genetic diversity within and among its natural populations under this new scenario. *New Phytologist*, 180: 466-478.



## ROCAS SILÍCEAS DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL VALLE MEDIO DEL EBRO

Luis Miguel GARCÍA-SIMÓN<sup>1</sup>  
Juan MANDADO<sup>2</sup>

RESUMEN.— La arqueopetrografía o estudio petrográfico de las materias primas líticas utilizadas en la prehistoria, concretamente el sílex, ha experimentado una notable evolución en la investigación prehistórica. En el presente artículo se analizan sílex procedentes de 46 afloramientos de la margen izquierda del valle medio del Ebro, entre los que se destaca la variedad conocida como *tipo Monegros*.

ABSTRACT.— The petrographic study of lithic raw materials, and more specifically flint, has enjoyed a remarkable development given its importance for prehistoric research. This paper presents the analysis of 46 chert deposits from the left margin of the middle Ebro basin, among them the well-known *Monegros type*.

KEY WORDS.— Flint / chert, prehistory, Monegros, middle Ebro basin (Spain).

### INTRODUCCIÓN

El sílex o *pedernal*, como se le conoce tradicionalmente en España, cuenta en la actualidad con una relevancia más bien tímida en los estudios

---

<sup>1</sup> luisgarciasimon@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, 12. E-50009 ZARAGOZA. jmandado@unizar.es

petrológicos, hecho que podemos atribuir a dos razones. La primera es el escaso porcentaje de esta roca en comparación con otras litologías presentes en la corteza terrestre, lo que la hace pasar desapercibida o quedar relegada a una presencia testimonial en muchos trabajos científicos. La segunda es su escasa empleabilidad y, por tanto, su mínimo interés económico. En cambio, desde la prehistoria hasta etapas cercanas a la actualidad, el conocimiento de los lugares de afloramiento del sílex y su explotación y trasiego tuvieron su importancia en la organización social y económica de los grupos humanos, debido a su empleo en la fabricación de útiles.

De esta manera, si para las ciencias de la tierra este tipo de roca presenta un interés secundario (a excepción de algunos trabajos especializados), en las ciencias humanas de la antigüedad (especialmente en la prehistoria) el estudio de todo lo concerniente al sílex se revela de extrema importancia, pues esta roca fue esencial para nuestros antepasados debido a sus propiedades mecánicas, sobre todo a su fractura concoidea, que permite la obtención de bordes naturalmente afilados.

Otra razón de la importancia de su estudio es que la presencia de sílex entre los materiales recuperados en un yacimiento prehistórico antiguo suele superar el 50% hasta alcanzar en ocasiones el 100% de las materias primas del registro arqueológico. Este hecho no se debe únicamente a que esta roca fuera ampliamente utilizada, ya que conviviría con otros materiales en semejantes proporciones como madera o hueso. Pero pocos de ellos han sobrevivido al paso del tiempo contribuyendo a aumentar la representación del sílex.

Los trabajos sobre este material y su uso en el pasado se han centrado tradicionalmente en aspectos tipológicos, obviando en gran medida otras cuestiones como la que aquí presentamos: el análisis del sílex como materia prima lítica desde un punto de vista petrológico. Y es que esta roca cuenta con una particularidad únicamente compartida con las conchas de algunos animales marinos y otros restos pétreos: la posibilidad de determinar su lugar geográfico exacto de formación. Este hecho permite, a través de su caracterización y comparación, localizar los lugares de obtención de este material, pudiéndose trazar las rutas de trasiego desde su emplazamiento original hasta las zonas de elaboración, uso y/o abandono de los útiles que en la actualidad conforman los yacimientos arqueológicos.

Esta disciplina, que ha sido bautizada como arqueopetrología, persigue como objetivo general comprender mejor la forma de vida de nuestros más remotos antepasados, recurriendo a las ciencias naturales y de la tierra, concretamente a la petrología para aplicar técnicas de caracterización petrográfica.

El interés por el estudio de los materiales líticos empleados por las sociedades del pasado ha corrido parejo al desarrollo de la ciencia prehistórica, aunque la carencia de las técnicas necesarias —principalmente microscópicas— de los primeros investigadores les obligó a limitarse a una mera descripción de las características *de visu* de los restos arqueológicos. La investigación geológica, por su parte, también puso algo de interés en este tipo de litología, a pesar de tratarse de una roca escasa. No obstante, hubo que esperar a la última década del siglo XIX y primeras del XX para que aparecieran los primeros estudios que analizaban las texturas del cuarzo en determinados tipos de rocas, lo que supuso el establecimiento de las bases petrográficas para el estudio de las silicificaciones.

Solo con la interdisciplinariedad entre la geología y la investigación prehistórica se inició el desarrollo de la arqueopetrología, ya a finales del siglo XX. En este marco comienzan los trabajos especializados de diferentes grupos de investigación, entre los que podemos destacar por su vecindad los desarrollados en Cataluña y el País Vasco desde comienzos del siglo XXI. En Aragón carecemos de una investigación de carácter global, pues contamos con apenas una decena de estudios locales. Destaca en este panorama un artículo pionero en nuestro país, evidencia de la interdisciplinariedad mencionada, firmado en 1992 por el prehistoriador Carlos Mazo y el geólogo José Antonio Cuchí, sobre algunas variedades del territorio aragonés. Desde entonces se han sucedido algunos estudios de yacimientos concretos: cueva del Moro de Olvena (TILO y MANDADO, 1995), Secans (RODANÉS y cols., 1996), los Baños de Ariño (LEORZA, 2004), Cova Alonsé (SÁNCHEZ y MANGADO, 2013), Cabezo de la Cruz (LEORZA, 2013) y Forcas (SÁNCHEZ, 2014).

La zona comprendida entre el Prepirineo aragonés y las sierras monegrinas ha constituido desde los tiempos más remotos de nuestra historia un lugar de convergencia y comunicación de los distintos grupos humanos que habitaban el valle medio del Ebro. Este hecho se puede relacionar, entre otros factores, con la existencia de importantes afloramientos silíceos de

gran calidad, como, por ejemplo, los localizados en los relieves tabulares monegrinos, como la sierra de Alcubierre. Ahondar en el conocimiento de los lugares de afloramiento de las materias primas silíceas nos permite establecer las áreas de captación / explotación de estos recursos y relacionarlas con los lugares de asentamiento de dichas poblaciones, pudiendo estimar de esta forma las rutas que vertebraban este territorio en esas épocas. Para ello es necesario contar con un corpus de muestras y caracterizaciones (litoteca) que facilite su consulta. Inexistente hoy en Aragón, el presente artículo (resumen del trabajo desarrollado mediante una Ayuda de Investigación del Instituto de Estudios Altoaragoneses en 2013) pretende ser el germen de su construcción. Los objetivos planteados en dicho estudio han sido:

- El reconocimiento de afloramientos silíceos entre los Monegros y las sierras prepirenaicas y sus piedemontes, dividiendo estas en dos tramos: Prepirineo oriental, al este del Cinca, y Prepirineo central y occidental, al oeste de este curso.
- La caracterización y definición petrográfica de los materiales muestreados.
- La creación de una litoteca de muestras geológicas silíceas que facilite y permita la comparación con los restos de sílex recuperados durante las excavaciones arqueológicas con el fin de utilizarlos como marcadores de rutas de comunicación de nuestros antepasados prehistóricos.

## METODOLOGÍA

### *Delimitación de la zona de estudio*

El área de estudio alberga parte de dos grandes unidades geológicas: la cordillera pirenaica, al norte, y la depresión central o depresión terciaria del Ebro, al sur. En este contexto era necesario acotar zonas concretas de estudio, puesto que la extensión y los recursos disponibles no nos permitían el estudio completo y global de los afloramientos silíceos de toda la demarcación. Esta selección se llevó a cabo bajo dos parámetros:

- El conocimiento previo de afloramientos de rocas silíceas. A pesar de la escasez de estudios arqueopetroológicos en nuestra comunidad, son

frecuentes las noticias sobre afloramientos de esta litología, tanto en las hojas cartográficas geológicas de la serie Magna (1 : 50 000) como en la literatura arqueológica, además de informaciones transmitidas entre investigadores.

- La importancia subjetiva que hemos dado ambos autores a zonas concretas por su relevancia como eje vertebrador para las comunicaciones inter y supra territoriales. La arqueopetrología pretende mediante el estudio comparativo de los sílex recogidos en afloramientos geológicos y los procedentes de los yacimientos, utilizar estos materiales como trazadores de rutas y vías de comunicación interna dentro de un territorio económico y social determinado y su relación con los vecinos.

De esta manera, se han escogido las tres áreas de estudio (fig. 1, tabla I):

- Los Monegros son un territorio delimitador por antonomasia. No es casualidad que la cresta de la sierra de Alcubierre establezca la linde entre las provincias aragonesas de Huesca y Zaragoza, si bien municipios de ambas se unen en una misma comarca. Sin presentar grandes alturas, ni una orografía difícil de franquear, los Monegros constituyen un hito geográfico de verdadera importancia a lo largo de toda la historia, pues son la atalaya que domina el valle medio del Ebro: al norte se divisan la hoya de Huesca y el somontano de Barbastro, y como telón de fondo los Pirineos; al sur el discurrir del río Ebro, el Moncayo al oeste y, más al sur, otras alturas del Sistema Ibérico.

Esta disposición hace de los Monegros un enclave de paso para las comunicaciones entre la costa norte mediterránea y el norte y centro peninsular aún en la actualidad, con el discurrir a sus pies de la carretera nacional II. A este hecho se suma el conocimiento desde tiempo inmemorial de la existencia de numerosos afloramientos silíceos, algunos de ellos de excepcional aptitud para la talla de herramientas líticas. El hombre primitivo debió conceder gran importancia a esta zona en donde podía aprovisionarse de materia prima con facilidad, de manera abundante y de alta calidad. Desde el inicio de los estudios sobre las materias primas líticas silíceas, los arqueólogos han considerado esta zona como uno de los principales lugares de abastecimiento de los sílex presentes en los yacimientos, no solo

aragoneses, sino del conjunto del cuadrante noreste peninsular e incluso al otro lado de los Pirineos, donde pronto adoptaron el término *Monegros* para llamar a variedades adscritas a un medio de formación continental lacustre que suelen presentar evidencias de tallos y oogonios de algas carofitas, anillos de Liesegang y un cromatismo oscuro. Como tendremos oportunidad de ver, esta caracterización dista de la realidad, pues aunque son frecuentes las litologías silíceas con estas características, los sílex de los Monegros presentan una gran variabilidad que propicia el atractivo de su investigación. Por eso, constituyen la parte más importante de este estudio.

- En la zona oriental del Prepirineo hemos trabajado sobre afloramientos de los que ya teníamos noticia o hemos descubierto durante las prospecciones y que se encuentran esparcidos por las comarcas de La Litera, Somontano de Barbastro y Ribagorza, abarcando, por tanto, las unidades geológicas de las Sierras Exteriores y la depresión media pirenaica.

El interés por el estudio de los afloramientos silíceos de esta área se relaciona con la numerosa presencia de yacimientos prehistóricos tanto aragoneses como de la vecina provincia leridana, como el de Peña de Las Forcas de Graus, Cova Alonsé en Estadilla o Cova del Parco en Alòs de Balaguer, entre otros. Así pues, el estudio de las rocas silíceas afloradas en este entorno cuenta con la posibilidad de comparación directa entre materiales geológicos y arqueológicos, demostrándose, como en el caso de Cova Alonsé, que cuenta ya con un completo estudio petrográfico (SÁNCHEZ y MANGADO, 2013), un ámbito de captación de materias primas silíceas cercano a los lugares de habitación.

- En tercer lugar, nuestra atención se ha focalizado en algunas zonas del Prepirineo central y occidental como las sierras de Guara y la de Santo Domingo.

La elección de esta última está condicionada por la existencia en su cara sur, a orillas del río Arba de Biel, de un importante conjunto de yacimientos prehistóricos que abarcan desde el Magdaleniense superior / final al Calcolítico. Entre los materiales recuperados desde 1999 en las excavaciones, hemos tenido la oportunidad de comprobar un empleo masivo del sílex local (sobre todo en las épocas de



**Fig. 1.** Mapa de distribución de los afloramientos estudiados.

mayor antigüedad), que encontramos en los conglomerados típicos de estas Sierras Exteriores, conocidos en Biel como *Las Lezas*, o formando parte de la glera del río.

En cuanto a las sílex de Guara, conocemos unas muestras facilitadas por José Antonio Cuchí. Ambas muestras son ejemplos de afloramientos de altura (Santa Cilia 1 a 1460 metros y Bentué 1 a 1705 metros) de difícil pero no imposible acceso.

### *Prospecciones sobre el terreno*

La prospección y recogida de muestras de los afloramientos de sílex de un territorio se basa en un minucioso trabajo previo de documentación y planificación. En nuestro caso procedimos, en primer lugar, a acotar las áreas arriba mencionadas, tras lo cual se inició la búsqueda de información sobre la probabilidad de existencia de sílex en ellas, recurriendo en primera instancia a la serie cartográfica Magna 1: 50 000 del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), de gran ayuda a pesar de que por su escala no suele prestar gran atención a una roca que objetivamente podemos considerar minoritaria en el registro geológico.

También han resultado útiles las noticias sobre la existencia de sílex que nos han llegado: citas bibliográficas, comentarios de colegas arqueólogos y geólogos, que conocedores de nuestro estudio nos han aportado información y/o muestras de sílex con los datos del lugar de afloramiento, y, por supuesto, el conocimiento previo de las zonas en las que se está interviniendo arqueológicamente, lo que nos obliga a conocer los recursos líticos existentes, su disposición en el territorio y las posibles relaciones con los grupos humanos que lo habitaban.

Así, hemos muestreado y catalogado 46 afloramientos, de ellos 33 en posición primaria o subprimaria (71,7%) y 28 en posición secundaria (28,3%), que han sido prospectados durante trece sesiones de campo. De todos estos afloramientos se han tomado y analizado macroscópicamente un total de 343 muestras, de las que 35 han sido, además, analizadas microscópicamente.

Tan importante como el acopio de muestras es su catalogación y el tratamiento de los datos fundamentales: procedencia y características. Nos hemos servido de un programa ofimático especializado para la confección de una



base de datos que alberga la información sobre los trabajos de prospección y análisis, permitiendo la edición de los datos, su tratamiento y transmisión. En ocasiones se ha pretendido llegar a un consenso entre investigadores en el formato y los campos que han de contener este tipo de registros, pero lo habitual es que la base de datos se adapte a las necesidades e imperativos del investigador y los materiales estudiados. A estas quedarán asociados los contenedores y cada una de las muestras que contienen, conformando todo ello la litoteca de rocas silíceas que comienza a constituirse con este trabajo.

### *Caracterización macroscópica*

La descripción de las características de las materias primas silíceas mediante técnicas macroscópicas ha sido, y sigue siendo, práctica habitual por parte de los investigadores de la prehistoria. Es una técnica simple y económica, que consiste en la identificación del sílex a partir de la observación de caracteres morfoscópicos *de visu* o mediante el empleo de una lupa binocular. Estos caracteres formales permiten crear un registro con escalas nominales de variables (RAMOS, 1986). Otra de las ventajas es que se trata de una técnica inocua para la muestra, hecho que resulta banal para las muestras de procedencia geológica, pero muy importante para las de procedencia arqueológica; se evita, de esta manera, la destrucción total o parcial de cualquier útil o resto de talla prehistórico.

Nuestro análisis macroscópico centra su atención en cuatro parámetros: córtex, masa silícea, alteraciones y fósiles, inclusiones y estructuras con el fin de adscribir las muestras a un medio sedimentario concreto y agruparlas en tipos con características definitorias que permitan diferenciarlas del resto.

Pero esta técnica presenta a su vez claras limitaciones: se trata de una técnica basada en parámetros cualitativos, difícilmente cuantificables, por lo que depende en todo momento de la subjetividad del observador, resultando difícil, cuando no imposible, la transmisión o el entendimiento entre investigadores a pesar de numerosos intentos de establecer criterios más precisos, objetivos, cuantificables y transmisibles. Aun así es la técnica base para las investigaciones arqueopetrológicas, que permite el análisis del conjunto de muestras geológicas o restos arqueológicos de una manera relativamente sencilla.

### *Caracterización microscópica*

La caracterización mediante microscopio polarizante permite definir y caracterizar las rocas de manera precisa y objetiva, tarea desempeñada por la Petrografía. Se analizan la textura y los componentes mineralógicos que constituyen una roca y la forma como estos se presentan en una muestra de lámina delgada. Es una técnica de caracterización propiamente petrográfica que carece de la subjetividad de la técnica macroscópica, pero que conlleva obligatoriamente la preparación de la muestra para posibilitar su observación y, por tanto, su destrucción total o parcial.

En este trabajo, tras el análisis y la descripción macroscópica de cada una de las muestras se procedió a la selección de 35 para la elaboración de láminas delgadas. La elección de estas muestras se realizó de acuerdo con dos parámetros: profundizar en el conocimiento de algunos sílex cuyo análisis macroscópico se demostró insuficiente para contemplar sus rasgos internos y poder ser adscrito a un medio sedimentario concreto, y la importancia que presuponemos a ciertos materiales para la investigación arqueopetroológica por su ubicación, aptitudes para la talla o por una presumible mayor difusión en el contexto arqueológico.

Además de las aquí expuestas, existen otras técnicas de caracterización petrográfica que implican analíticas de carácter físico o químico a cuya escala de análisis no hemos descendido en esta fase de nuestro estudio.

## RESULTADOS

Como hemos adelantado, se han prospectado y/o muestreado 46 afloramientos de sílex distribuidos en 17 localidades. Macroscópicamente se han analizado un total de 343 muestras, a 35 de las cuales se han extraído láminas delgadas para su estudio microscópico. La tabla I resume los datos del estudio, ordenados por zona de estudio y localidad. Cada afloramiento se refleja mediante una sigla formada por el código postal del municipio más un número de orden correlativo. Se indica el número de muestras recogidas y las láminas delgadas correspondientes. Del afloramiento se especifica la época geológica, su posición primaria o secundaria y el medio sedimentario en que se formó el sílex.

**Tabla 1.** Afloramientos de sílex estudiados:  
localización y principales características petrográficas.

Zona	Localidad	Sigla	N.º	Afloramiento	N.º de muestra	Láminas delgadas	Época / serie *	Tipo de afloramiento	Medio sedimentario
MONEGROS	Candasnos	22591	1	Los Regallos 1	37	–	<i>Mioceno</i>	Secundario	Lacustre dulce / salobre
	Peñalba	22592	1	Valcuerna 1	5	L15	Mioceno	Primario	Lacustre dulce
		22592	2	Valcuerna 2	3	–	Mioceno	Primario	Lacustre dulce
		22592	3	Valcuerna 3	8	L22 / L23	<i>Mioceno</i>	Subprimario	Lacustre dulce
		22592	4	Valcuerna 4	3	L20	Mioceno	Primario	Lacustre dulce
		22592	5	Valcuerna 5	6	L18	Mioceno	Primario	Lacustre dulce
		22592	6	Valcuerna 6	5	L16	Mioceno	Primario	Lacustre dulce
		22592	7	Valcuerna 7	3	L21	<i>Mioceno</i>	Subprimario	Lacustre dulce
		22592	8	Valcuerna 8	2	–	Mioceno	Primario	Lacustre dulce
		22592	9	Valcuerna 9	3	–	Mioceno	Primario	Lacustre dulce
		22592	10	Valcuerna 10	2	–	Mioceno	Primario	Lacustre dulce
		22592	11	Valcuerna 11	5	L17	Mioceno	Primario	Lacustre dulce
		22592	12	Valcuerna 12	5	L19	<i>Mioceno</i>	Subprimario	Lacustre dulce
		22592	13	Valcuerna 13	1	–	Mioceno	Primario	Lacustre dulce
		22592	14	Valcuerna 14	24	–	<i>Mioceno</i>	Secundario	Lacustre dulce
	La Almolda	50178	1	Santa Quiteria 1	3	L10	Mioceno	Primario	Lacustre dulce
		50178	2	Santa Quiteria 2	4	L01	Mioceno	Primario	Lacustre dulce
		50178	3	Santa Quiteria 3	5	L11	Mioceno	Primario	Lacustre dulce
	Farlete	50163	1	La Torraza 1	3	–	Mioceno	Primario	Lacustre dulce
		50163	2	La Torraza 2	8	L25	Mioceno	Primario	Lacustre dulce
		50163	3	La Torraza 3	19	L24	Mioceno	Primario	Lacustre dulce
		50163	4	Monte Oscuro 1	7	L02	Mioceno	Primario	Lacustre dulce
		50163	5	Monte Oscuro 2	8	–	Mioceno	Primario	Lacustre dulce
		50163	6	Monte Oscuro 3	9	L03	Mioceno	Primario	Lacustre dulce
		50163	7	Monte Oscuro 4	12	L09	<i>Mioceno</i>	Secundario	Lacustre dulce
		50163	8	Monte Oscuro 5	8	L08	Mioceno	Primario	Lacustre dulce
		50163	9	Monte Oscuro 6	5	–	<i>Mioceno</i>	Secundario	Lacustre salobre
	Perdiguera	50161	1	Monte Oscuro 7	5	–	Mioceno	Primario	Lacustre salobre
		50161	2	Monte Oscuro 8	8	L04 / L05	<i>Mioceno</i>	Secundario	Lacustre dulce / salobre
		50161	3	Monte Oscuro 9	4	–	Mioceno	Primario	Lacustre salobre
		50161	4	Monte Oscuro 10	17	L06 / L07	<i>Mioceno</i>	Secundario	Lacustre dulce / salobre

\* En cursivas, edad geológica estimada.

**Tabla 1.** (continuación)

Zona	Localidad	Sigla N.º		Afloramiento	N.º de muestra	Láminas delgadas	Época / Serie	Tipo de afloramiento	Medio sedimentario
PREPIRINEO ORIENTAL	Padarnú	22451	1	Padarnú 1	4	–	Cretácico superior	Primario	Marino
		22451	2	Padarnú 2	3	–	Cretácico superior	Primario	Marino
		22451	3	Padarnú 3	4	–	Cretácico superior	Primario	Marino
	Puy de Cinca	22439	1	Puy de Cinca 1	4	–	Cretácico superior	Primario	Marino
	Güel	22481	1	Güel 1	4	–	–	Secundario	Lacustre salobre
	Estadilla	22423	1	La Mentirosa 1	32	L30 / L31 / L35	Cretácico superior	Primario	Lacustre dulce
	Alins del Monte	22421	1	Alins 1	2	L28 / L33	Cretácico superior	Primario	Lacustre salobre
		22421	2	Alins 2	3	L29 / L24	Cretácico superior	Primario	Lacustre salobre
	Alberola	25611	1	Sant Miquel 1	4	–	Oligoceno	Primario	Lacustre dulce
	Castelló de Farfanya	25163	1	Serra Llarga 1	5	–	Oligoceno	Primario	Lacustre dulce
PREPIRINEO CENTRAL Y OCCIDENTAL	Santa Cilia de Panzano	22141	1	Santa Cilia 1	3	–	–	Secundario	Indeterminado
	Bentué de Nocito	22150	1	Bentué 1	4	–	Cretácico superior	Primario	Lacustre dulce
	Biel	50619	1	Arba de Biel 1	27	L13 / L14	–	Secundario	Marino
	Peraltilla	22311	1	Peraltilla 1	5	L26 / L27 / L32	Oligoceno	Primario	Lacustre dulce
	Lastanosa	22215	1	Lastanosa 1	2	L12	–	Secundario	Marino

### *Monegros*

Como ya se ha dejado patente arriba, una de las zonas más interesantes del territorio aragonés y por extensión del valle medio del Ebro es la muestra terciaria que conforma la sierra de Alcubierre, dominando el tránsito entre las costas mediterránea y cantábrica en el norte peninsular. Su litología —principalmente calizas, margas y yesos— es rica en rocas silíceas, hecho bien conocido por nuestros antepasados, que explotaron sistemáticamente estos afloramientos tal como evidencian los numerosos restos líticos que permiten remontar los trabajos de talla hasta el Paleolítico (TILO, 1991).

Desde un principio esta sierra monegrina y su entorno han sido objetivo importante en nuestro estudio, que se ha apoyado en las numerosas referencias sobre sílex en las mencionadas hojas de la serie Magna del IGME, además de otras publicaciones entre las que destaca el ya veterano estudio de QUIRANTES (1978) sobre esta zona. Los afloramientos prospectados de esta zona de este a oeste se encuentran en las localidades de Candanos, Peñalba, La Almolda, Farlete y Perdiguera.

- *Los Regallos 1, Candanos (Hu) [22591.1]*. Las muestras silíceas fueron recogidas a los pies del tozal de Los Regallos (fig. 2a), donde se ubica un asentamiento de la Primera Edad del Hierro (siglo VIII a. C.). En este emplazamiento, cercano a la carretera nacional II, los sílex se localizan en el relleno aluvial de las vales que discurren en el entorno de dicho tozal. Se trata, por tanto, de un afloramiento secundario en donde se acumulan cantos de litologías y procedencias diversas. Así, es posible abastecerse de distintos tipos de sílex cuya litología encajante ha sido erosionada vertiendo los materiales a estos barrancos, motivo por el cual entre las muestras obtenidas se distinguen distintos tipos de sílex. Los cantos suelen presentarse en nódulos subangulosos y carentes mayoritariamente de córtex debido al rodamiento sufrido durante el transporte.

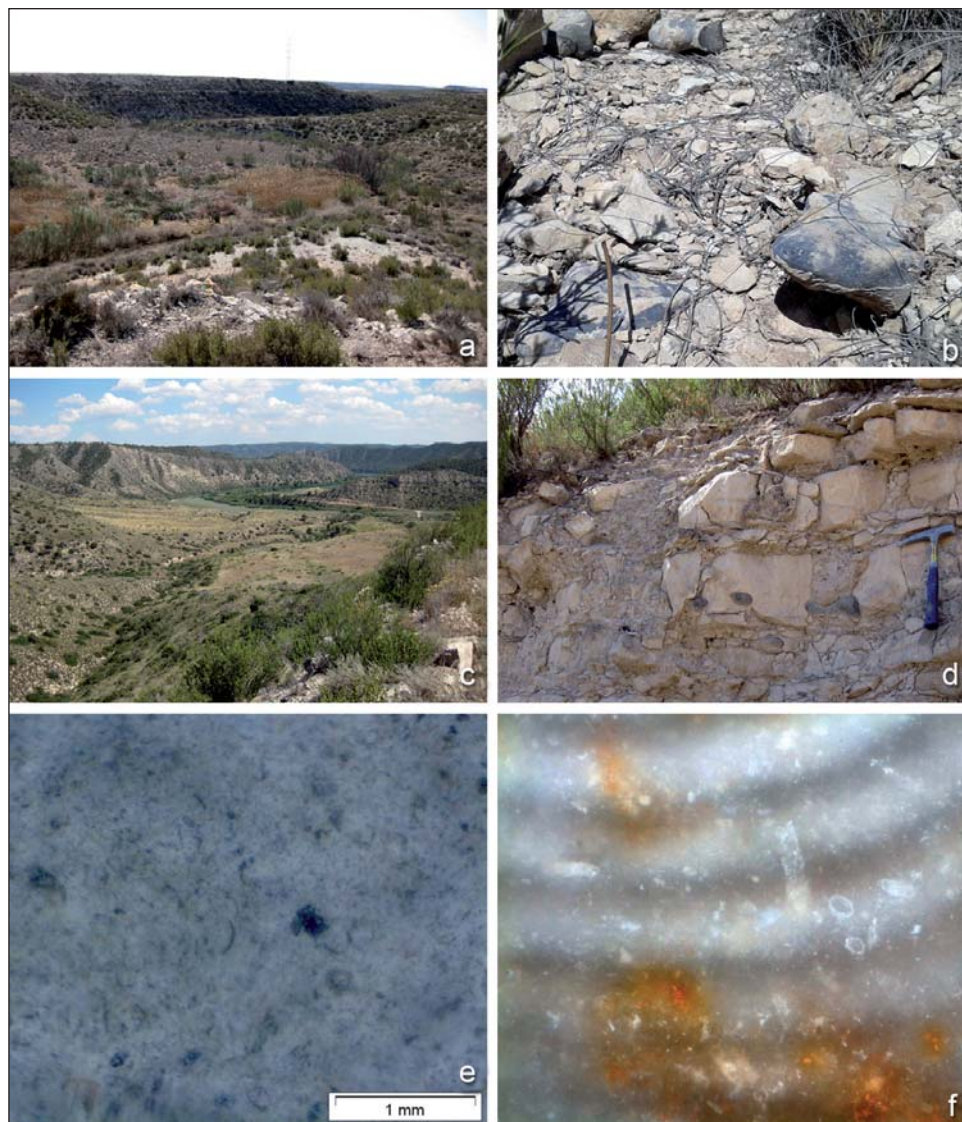
En este afloramiento encontramos un gran grupo de sílex que se adscriben a un medio de formación continental lacustre (fig. 2b) en el que pueden diferenciarse dos subgrupos en función de la abundante presencia de bioclastos, la profusión de relictos de carbonatos, que le aportan una tonalidad marronácea, y la ausencia total de anillos de Liesegang. Un tercer tipo en este afloramiento presenta los rasgos característicos de formación en un ambiente de formación continental evaporítico.

- *Valcuerna 1-14, Peñalba (Hu) [22592.1-14]*. Sin duda, uno de los afloramientos de sílex más importantes de la provincia, Aragón y nos atreveríamos a decir del valle del Ebro por varias razones. Se trata de un barranco de considerables dimensiones, tanto por su longitud como por su anchura, que comunica de manera directa y fácilmente transitable las estribaciones orientales de la sierra de Alcuierre con el cauce del río Ebro, desembocadura hoy en parte inundada por el embalse de Mequinenza (fig. 2c). Cuenta con un

caudal semiconstante de agua que, sin duda, lo hizo atractivo para el establecimiento de asentamientos humanos y para la fauna.

Por otro lado, su importancia viene dada por las ingentes cantidades de rocas síliceas que contienen las paredes y gradas rocosas (fig. 2*d*), que lo encauzan, y el fondo del barranco, donde se acumulan todas las litologías circundantes, que tras ser erosionadas se desplazan lentamente a favor de la pendiente del propio barranco en dirección al Ebro. Estos sílex presentan, además, una excelente aptitud para la talla, hecho que favorece su explotación.

De este entorno se han muestreado dos áreas diferentes: trece enclaves primarios y uno en posición secundaria. Las muestras 1 a 13 fueron recogidas en afloramientos primarios o subprimarios, principalmente en los que deja al descubierto el camino que conduce desde la localidad de Candasnos hasta el refugio de pescadores localizado en la desembocadura junto al pantano. El corte que practica dicho camino en la estratigrafía de la ladera sobre la que discurre muestra los sílex encajados en la roca donde se formaron. Como cabría esperar, al hallarse los afloramientos en posición primaria y en gran cantidad, la presencia de sílex en posición secundaria es obligatoria y notablemente más abundante cuanto más cerca del fondo del barranco nos encontramos, pues se suman los aportes de un mayor número de afloramientos fruto de la erosión. Además de los afloramientos estrictamente primarios muestreados (diez), se han recogido muestras en posición subprimaria (tres en total) para tener constancia de esta modalidad de aprovisionamiento al pie del filón, mucho más cómoda y factible que la extracción de los nódulos de su roca caja, en algunos casos de extrema dificultad aun con la ayuda de un martillo moderno. A pesar de los procesos posdeposicionales sufridos, las muestras recogidas en posición subprimaria atestiguan que el sílex no ve afectadas sus características internas y mantiene su excelente calidad. Por otra parte, se ha muestreado el fondo del barranco en su tramo medio —Valcuerna 14—, donde el sedimento que lo rellena contiene gran cantidad de sílex, que constituyen un depósito secundario con alta probabilidad de haber sido explotado por las sociedades prehistóricas que habitasen o discurriesen por él.

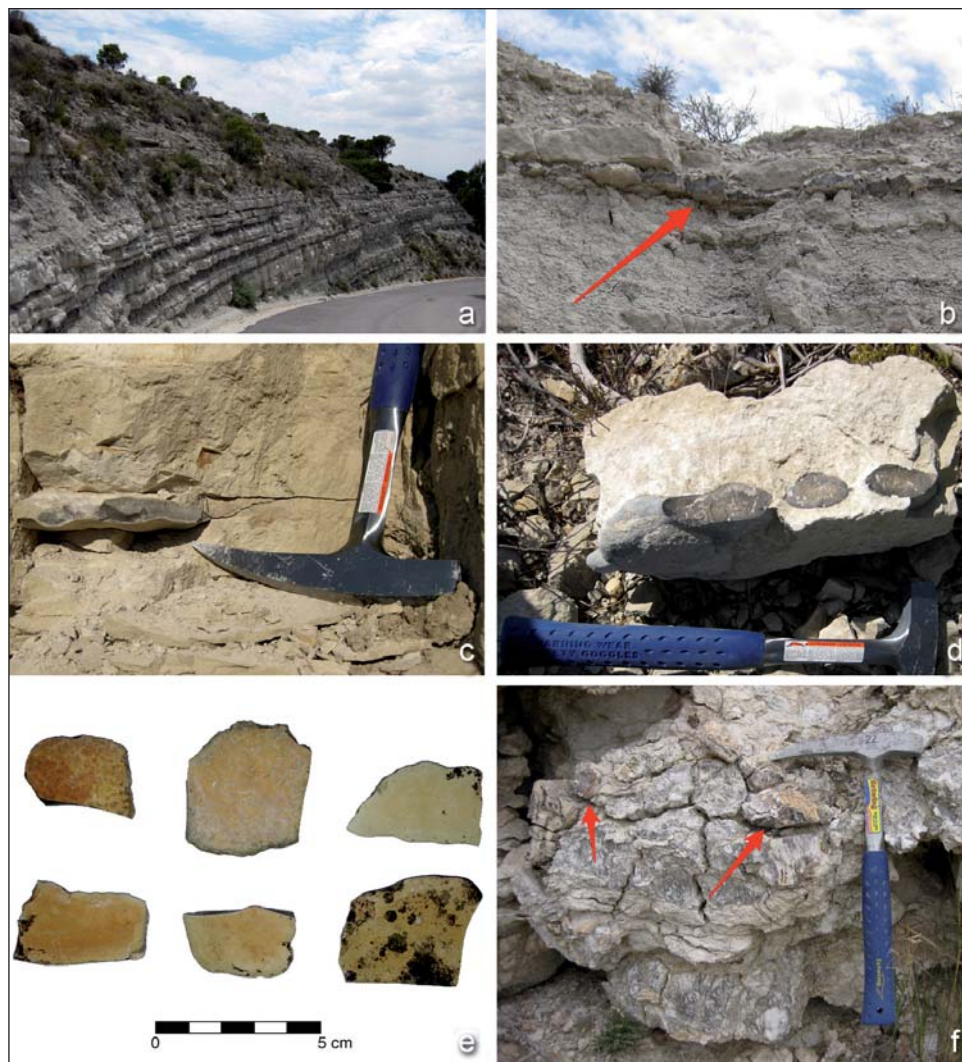


**Fig. 2.** Afloramientos y sílex de Monegros: *a* y *b*, total de Los Regallos, vista general de la val que se extiende al sur y nódulos irregulares de sílex carofíticos; *c* y *d*, barranco de la Valcuerna, vista general y afloramiento de nódulos silíceos en las calizas; *e*, masa silícea de la Valcuerna mostrando secciones de carofitas y gasterópodos; *f*, masa silícea de la Valcuerna en la que se aprecian secciones de carofitas, óxidos de hierro y anillos de Liesegang.

Los grupos tipológicos silíceos definidos macroscópicamente a partir de las 75 muestras de los 14 afloramientos se adscriben a un medio de formación continental lacustre, y presentan gran variabilidad en cuanto a su formato, más habitualmente en forma de nódulos, pero también en disposición estratificada. En todas las muestras se han observado a nivel macroscópico bioclastos pertenecientes a algas carofitas y, generalmente, también a gasterópodos lacustres (fig. 2e). Algunas muestras evidencian la presencia de anillos de Liesegang (fig. 2f). El estudio microscópico de las muestras nos ha permitido diferenciar dos tipos de silicificaciones. El primero de ellos nos muestra rocas en proceso de silicificación avanzado, pero en las que los restos de carbonato son todavía muy abundantes y presentan una casi total ausencia de bioclastos, lo que dificulta su atribución a un medio de formación continental lacustre con seguridad. El segundo, mayoritario, sí atestigua la presencia de bioclastos correspondientes a tallos y oogonios de algas carofitas: se trata también de un sílex en proceso de formación cuyo porcentaje de silicificación es escasamente superior al del carbonato, si bien es difícil una cuantificación precisa habida cuenta del pequeño tamaño del cristal y las texturas fuertemente interpenetradas que presentan el sílex y la caliza.

- *Santa Quiteria 1-3, La Almolda (Z) [50178.1-3]*. Se trata de tres afloramientos de sílex que dejan al descubierto el trazado de la vía asfaltada que asciende desde la localidad de La Almolda hasta la ermita de Santa Quiteria desde la que se domina visualmente gran parte del valle del Ebro. Los análisis macro- y microscópico de las muestras extraídas de los tres emplazamientos silíceos confirman su formación en un medio sedimentario continental lacustre como corresponde a las calizas miocenas que los contienen (fig. 3a). De mayor a menor altitud, los dos primeros afloramientos presentan silicificaciones de gran similitud, fuertemente encajadas en los potentes bancos calcáreos sobre las que se asienta el santuario; la diferencia entre ambos es la apariencia nodular regular del primero frente a la irregularidad del segundo. El tercero sobresale del resto por aflorar como un estrato continuo regular de gran extensión y potencia centimétrica (fig. 3b).





**Fig. 3.** Afloramientos y sílex de Monegros: *a*, Santa Quiteria 1 y 2, vista general de la zona de afloramientos silíceos nodulares; *b*, estrato silíceo de Santa Quiteria 3; *c*, plaquetas calcáreas en proceso de silicificación de La Torraza 2; *d*, nódulos carofíticos calcáreas en proceso de silicificación de La Torraza 3; *e*, fragmentos de sílex con morfología de tableta de Monte Oscuro; *f*, silicificaciones en el interior de yesos en Monte Oscuro.

- *La Torraza 1-3, Farlete (Z) [50163.1-3]*. En las calizas limosas sobre las que discurre el camino que conduce desde la ermita de la Virgen de la Sabina de Farlete a San Caprasio, se localizan en la misma columna estratigráfica tres afloramientos silíceos. De menor a mayor altitud, el primero se presenta en forma de pequeñas plaquetas aplanadas de dimensiones muy pequeñas que contribuyen a su fragmentación en el momento de desprenderse de su roca caja, imposibilitando de esta forma su empleo para la talla de herramientas líticas. El segundo afloramiento muestreado se presenta igualmente en forma de plaquetas, pero ya de espesor centimétrico y dimensiones entre 10 y 20 centímetros (fig. 3c). Y, finalmente, el tercero, más alto en la escala litológica, se presenta con morfología nodular, pero tendente a la comunicación entre los propios nódulos, lo que genera en algunas zonas plaquetas de tamaños considerables (fig. 3d).

A nivel macroscópico, todas las muestras de los tres emplazamientos presentan semejantes características. Se atestigua en ellas la presencia de bioclastos de algas carofitas que permiten su adscripción a un medio sedimentario continental lacustre. El estudio de las láminas delgadas obtenidas de estas muestras nos revela que se trata de una caliza micrítica en proceso de silicificación que presenta únicamente entre un 10 y un 15% de silicificación, porcentaje correspondiente a las numerosas secciones de bioclastos de algas carofitas y ostrácodos de medios continentales lacustres, que destacan, además, por su nítida visión, y que confieren a la muestra una textura *packstone* según la clasificación de Dunham (1962). Nos encontramos, pues, ante una roca caliza en proceso de silicificación, cuyo escaso contenido silíceo le aporta las propiedades de un sílex y, por tanto, posibilita su talla con una aptitud valorable como media.

- *Monte Oscuro 1-6, Farlete (Z) [50163.4-9]*. Estos seis yacimientos fueron localizados en las laderas sur de Monte Oscuro, segunda cota en altitud —822 metros— de la sierra de Alcubierre tras San Caprasio —834 metros—. Se trata de discretos afloramientos silíceos, pero con materiales aptos para la confección de utillaje lítico. Las muestras 1 a 5 se han adscrito a medios de formación continentales

lacustres, y plantea dudas sobre esta cuestión su análisis a nivel macroscópico. Los seudomorfos lenticulares de yeso y la ausencia de bioclastos de la muestra 6 permiten adscribirla a un medio de formación continental evaporítico.

Entre los diferentes tipos de sílex de estos afloramientos destacan los que presentan morfología de tableta (fig. 3e), esto es, con anchura centimétrica y espesor milimétrico. Estos sílex conservan la totalidad de su córtex, de espesor microscópico y habitualmente de tonalidad anaranjada que no es necesario eliminar para obtener filos. No obstante, esta tipología presenta un condicionante que limita su uso: sus pequeñas dimensiones que acrecientan su fragilidad, hecho que se evidencia en los múltiples fragmentos que se localizan esparcidos por la zona de afloramiento. Este tipo de litología es muy relevante para los estudios prehistóricos del Neolítico, pues son los materiales empleados para la confección de los dientes de hoz.

- *Monte Oscuro 7-10, Perdiguera (Z) [50161.1-4]*. Afloramientos localizados en las estribaciones de la cara oeste de Monte Oscuro, a las que se accede desde la localidad de Perdiguera. Las muestras de estos afloramientos presentan grandes similitudes con las arriba analizadas de Monte Oscuro 1-6, puesto que nos encontramos en idéntico marco geológico. Al igual que en el caso de los yacimientos de Farlete, en estos destacan por su abundancia y por su interés arqueológico los sílex de morfología de tableta (fig. 3e), aunque en estos casos se pueden apreciar caprichosas formas. A pesar de que su tamaño no permite la confección de útiles de cierta envergadura, sí pueden ser utilizados para otros más discretos como, por ejemplo, los mencionados dientes de hoz del Neolítico.

Entre las muestras de estos sílex de Perdiguera predominan los formados en medios sedimentarios continentales evaporíticos y destacan aquellos que afloran formando esférulos en el seno de los yesos (fig. 3f). El estudio microscópico de las muestras recogidas en Monte Oscuro, tanto en su zona sur en Farlete como oeste en Perdiguera, nos permite diferenciar tres tipos de tipologías silíceas, además de la variedad evaporítica, de la que no se ha realizado ninguna lámina al no presentar problemas en cuanto a su adscripción a un

medio sedimentario concreto. Un primer tipo se diferencia por presentar un tapizado algar. Un segundo atestigua que nos encontramos ante una caliza micrítica de origen lacustre en proceso de silicificación, o someramente silicificada, que afecta únicamente a poros, grietas y discontinuidades; otros componentes carbonatados observables son las secciones de ostrácodos y los bandeados micríticos, con alto contenido en materia orgánica. El tercero de los tipos corresponde a los sílex con morfología de tableta, en los que la silicificación es masiva, de lo que deriva su excepcional calidad para la talla. Son evidenciables las secciones de tallos y oogonios de algas carofitas completamente silicificados. El fino córtex es de litología caliza y está ligeramente silicificado.

### *Prepirineo oriental*

El conjunto de afloramientos de la zona del Prepirineo oriental y su piedemonte lo componen diez emplazamientos, algunos de ellos con presencia de rocas silíceas abundante o incluso masiva, otros mucho más discretos de los que se da constancia en estas líneas.

Los afloramientos de Padarnú, junto al de Puy de Cinca, pedanía de Secastilla, y Güel, población de Graus, se integran en la comarca oscense de Ribagorza. De la vecina comarca del Somontano de Barbastro recogemos el afloramiento de sílex de La Mentirosa de Estadilla, próximo al de Alins del Monte, también en la sierra de la Carrodilla, término municipal de Azanuy-Alins, en la comarca de La Litera. Ambos yacimientos han sido ampliamente estudiados por los arqueopetrólogos de la Universidad de Barcelona Marta Sánchez y Xavier Mangado en 2013. Como la geología no sabe de fronteras políticas hemos querido atestiguar la presencia de dos importantes canteras de sílex en la vecina comarca ilderdense de La Noguera, en la localidad de Alberola, perteneciente al municipio de Os de Balaguer, y la de la Serra Llarga en Castelló de Farfanya, cuyo conocimiento y muestras debemos también a Sánchez y Mangado.

Se ha mencionado con anterioridad que esta zona oriental plantea un problema de fuentes bibliográficas, pues carece de la publicación de las hojas correspondientes a la serie Magna del IGME, por lo que hemos

tenido que recurrir a otras fuentes como el mapa geológico 1:200 000 de la provincia de Huesca.

- *Padarnú 1-3, Padarnú (Valle de Lierp, Hu) [22451.1-3]*. Se trata de un conjunto de tres afloramientos de sílex nodular irregular inserto en calizas garumnienses de la cara meridional del macizo del Turbón a una altitud superior a los 1100 metros. Se trata de sílex de excelente calidad para la talla que presenta profusión de espículas de poríferos o espículas silíceas de esponjas que lo adscriben a un ambiente de formación marino. Destaca en las muestras del grupo 3 la relación de estas espículas con radiolarios, por lo que estamos ante un ejemplo de radiolarita o espongiolita (MOLINA, 2004).
- *Puy de Cinca 1, Puy de Cinca (Secastilla, Hu) [22439.1]*. Afloramiento silíceo en posición primaria de nódulos insertos en las calizas garumnienses cercanas a la población del Puy de Cinca. Sílex de excelente aptitud para la talla a pesar de las múltiples fisuras tectónicas completamente selladas por sílice criptocristalina. Se evidencian bioclastos identificables con foraminíferos que permiten su adscripción a un medio de formación marino.
- *Güel 1, Güel (Graus, H) [22481.1]*. Muestras de sílex de poca entidad recogidas en posición secundaria que presentan una patinación total y profunda. Sus características macroscópicas permiten su adscripción a un medio de formación continental evaporítico.
- *La Mentirosa 1, Estadilla (Hu) [22423.1]*. Nódulos de sílex de morfología irregular en posición secundaria localizados en los alrededores de la ermita de la Carrodilla, sobre la sierra a la que da nombre del municipio de Estadilla. Se trata de un sílex formado en un ambiente continental lacustre como lo atestiguan los abundantes componentes esqueléticos de algas carofitas y gasterópodos que se observan tanto a escala macro- como microscópica (SÁNCHEZ y MANGADO, 2013).
- *Alins 1-2, Alins del Monte (Azanuy-Alins, Hu) [22421.1]*. Afloramiento primario de nódulos regulares e irregulares en las estribaciones sur de la sierra de la Carrodilla, cerca de la población de Alins del Monte. En función del grano, la superficie y, en consecuencia,

su aptitud para la talla se han distinguido dos variedades o tipos (SÁNCHEZ y MANGADO, 2013), el primero de talla deficiente, a lo que contribuyen numerosas fisuras tectónicas; el segundo, por el contrario, presenta unas características que le aportan una buena aptitud para la talla. Ambos tipos se adscriben a un medio de formación continental evaporítico. La caracterización microscópica confirma la completa ausencia de inclusiones fosilíferas que se aventuraba en la macroscópica.

- *Sant Miquel 1, Alberola (Os de Balaguer, L) [25611.1]*. Afloramien-  
to de nódulos irregulares al pie de la sierra de Sant Miquel, en el  
flanco norte del sinclinal de Os de Balaguer, que discurre al sur de  
las poblaciones de Alberola y Tartareu. Se trata de un sílex formado  
en un ambiente continental lacustre del que destaca la elevada pre-  
sencia de carbonatos que provocan la clasificación de calidad para  
la talla como media.
- *Serra Llarga 1, Castelló de Farfanya (L) [25163.1]*. Afloramien-  
to de nódulos irregulares en las estribaciones meridionales de la Serra  
Llarga, que se extiende entre las poblaciones de Castelló de Farfanya  
y Algerri; la cantera silíceo continúa presente en toda su extensión y  
se extingue hacia el oeste, en Alfarràs. Es un sílex de alta calidad  
para la talla en el que no destacan por su abundancia los bioclastos  
de algas carofitas, pero sí por la nitidez de observación de los exis-  
tentes, por lo que se atribuye a un ambiente de formación continen-  
tal lacustre.

### *Prepirineo central y occidental*

La tercera y última de las áreas en las que centramos nuestro estudio son las Sierras Exteriores pirenaicas, que fueron objeto de varias campañas de prospección arqueológica por parte del equipo dirigido por Lourdes Montes y Rafael Domingo, de lo que deriva un creciente interés por el conocimiento de la existencia de afloramientos de rocas silíceas en el entorno que pudiesen haber sido utilizadas como lugar de aprovisionamiento en el pasado prehistórico. De esta zona contamos con cinco emplazamientos. Los dos primeros se localizan en las vertientes sur y norte, respectivamente,

de la sierra de Guara y nuestro conocimiento y muestreo se deben a las noticias aportadas por José Antonio Cuchí.

Diferente es el caso de los sílex atestiguados en el municipio de Biel, en cuyo entorno se ubica el referido conjunto de yacimientos prehistóricos en abrigo, con una cronología que abarca desde el final del Magdalenense hasta el Calcolítico y que es objeto de investigación por los doctores Lourdes Montes y Rafael Domingo desde 1999.

Las muestras silíceas más meridionales de todo el conjunto fueron recogidas en el municipio de Peraltilla, en el pie de monte de las Sierras Exteriores, y en la localidad de Lastanosa, perteneciente a Sariñena y, por tanto, a la comarca monegrina, cuya posición secundaria en las terrazas del río Alcanadre nos hace relacionarla con las Sierras Exteriores, hecho por el que decidimos su inclusión en esta área.

- *Santa Cilia 1, Santa Cilia de Panzano (Casbas de Huesca, Hu) [22141.1]*. Afloramiento secundario de nódulos de morfología irregular localizado en el paraje conocido como *Las Pedreras* en la ascensión por su cara sur al tozal de Guara, a 1460 metros de altitud. Los materiales recogidos presentan unas características de grano grueso y superficie rugosa que, unidas a las múltiples fisuras tectónicas, oquedades y recristalizaciones, le dotan de una aptitud para la talla muy deficiente. A escala macroscópica no ha sido posible la observación de bioclastos y otras inclusiones que nos permitiesen adscribirlo a un medio de formación concreto.
- *Bentué 1, Bentué de Nocito (Sabiñánigo, Hu) [22150.1]*. El afloramiento de Bentué se localiza a una altitud mayor incluso del registrado en Santa Cilia, a 1705 metros. En este caso, el lugar de afloramiento se sitúa en posición primaria en el paraje conocido como *Polje de Los Aveles*, cercano a la sima ubicada en el entorno. Se trata de nódulos silíceos irregulares encajados en calizas garumnienses de buena calidad para la talla, con abundante presencia de secciones de bioclastos de tallos y oogonios de algas carofitas que lo incluyen en un medio sedimentario de formación continental lacustre.
- *Arba de Biel 1, Biel (Z) [50619.1]*. El afloramiento de Biel es a la vez primario y secundario: los nódulos de sílex son parte integrante

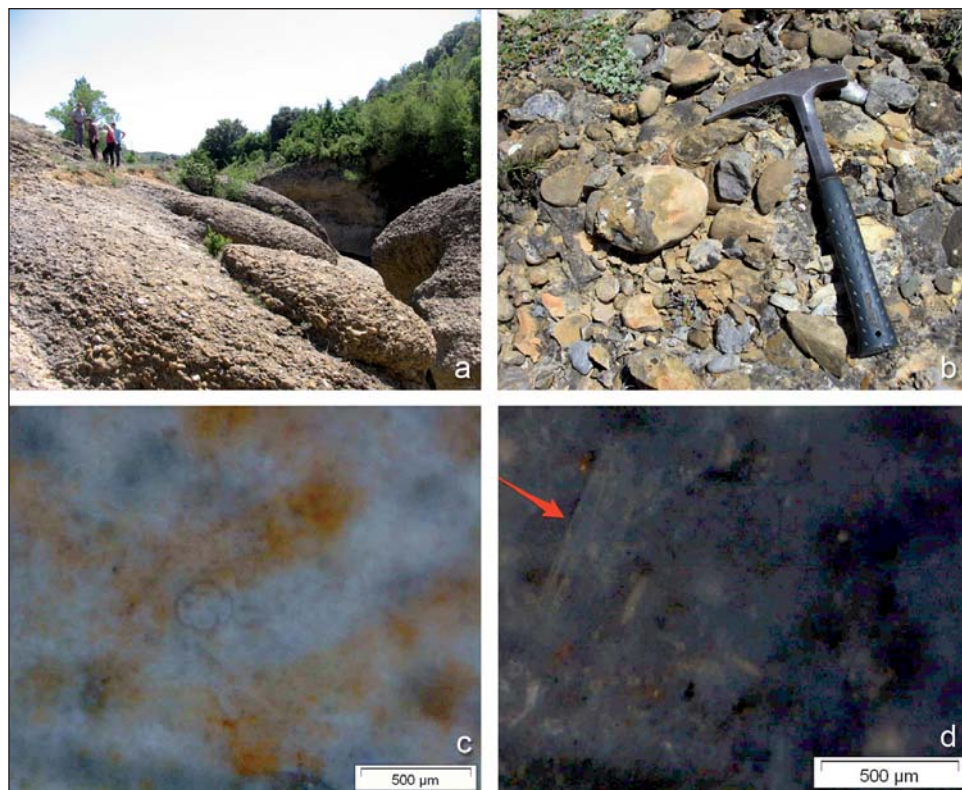
de la glera transportada por el Arba de Biel desde los cercanos conglomerados masivos de la formación Uncastillo (fig. 4a), que en Biel reciben el topónimo de *Las Lezas*. Al pie de la sierra de Santo Domingo los conglomerados se extienden de este a oeste formando parajes tan significativos como los Mallos de Riglos y de Agüero.

La explotabilidad de este recurso está condicionada, en primer lugar, por su escasa o nula visibilidad: tanto si se trata del material contenido en los conglomerados como si se encuentra entre los cantos rodados del cauce, es necesaria su fragmentación para diferenciarlo del resto de las litologías que lo acompañan en el conjunto. La dificultad que implica la sustracción de estas rocas cuando están insertas en la formación conglomerática hace pensar en el cauce del río como principal zona de acopio de materiales; son los agentes atmosféricos y el caudal del propio río los encargados de liberar, suministrar y transportar las rocas por el lecho del río (fig. 4b).

El incipiente estudio de los materiales arqueológicos hallados en el conjunto de los cinco yacimientos de Biel atestigua el uso continuado de estos materiales líticos durante más de 10 000 años. La investigación arqueopetroológica ha podido demostrar un mayor uso de estas rocas frente a otras variedades silíceas durante las etapas más antiguas del registro arqueológico, mientras que disminuye paulatinamente con el paso del tiempo. Esta disminución podría deberse, entre otras razones, a una menor presencia de nódulos de sílex en el cauce a consecuencia del gran acopio de materiales efectuado por los primeros pobladores de esta zona.

Los materiales recogidos en este afloramiento son nódulos rodados subsféricos de calidad media, pues presenta una gran tenacidad a su fractura lo que dificulta la talla. Son abundantes las inclusiones fósilíferas de foraminíferos de tipo bentónico que incluso han podido incluirse dentro del suborden Rotaliina (fig. 4c), y las secciones tanto transversales como longitudinales de espículas silíceas de esponjas (fig. 4d), algunas relacionadas con radiolarios, en cuyo caso constituyen radiolaritas por ser estos dominantes; todo ello permite adscribir estas rocas a un medio de formación marino.





**Fig. 4.** Afloramientos y sílex del Arba de Biel: *a*, Las Lezas, conglomerados de la formación Uncastillo; *b*, nódulo silíceo; *c*, foraminífero bentónico y óxidos de hierro; *d*, espícula de esponja.

- *Peraltilla 1, Peraltilla (Hu) [22311.1]*. Afloramiento primario de nódulos regulares e irregulares insertos en las calizas que coronan la sierra del Vedado, que se extiende de sur a norte al este de Peraltilla. Estos mismos nódulos aparecen en posición subprimaria, hecho que facilitaría su explotación. El análisis macroscópico desvela, y el microscópico confirma, la presencia en abundancia de componentes esqueléticos de algas carofitas y gasterópodos, lo que corrobora su formación en un ambiente continental lacustre. Destaca la abundancia de inclusiones de óxidos metálicos que llegan a conformar una pátina superficial en las muestras.

- *Lastanosa 1, Lastanosa (Sariñena, Hu). [22215.1]*. Muestra sílicea hallada en las cercanías de Lastanosa en posición secundaria. Destacan las masivas inclusiones ferruginosas en posición bandeada evidenciables *de visu*. Carece de zona cortical y presenta numerosas abolladuras y un elevado grado de rodamiento debido al transporte posdeposicional. Presenta una aptitud para la talla media debido a las múltiples fisuras tectónicas sufridas durante su enterramiento, aunque se hallan completamente rellenas de sílice y actúan como planos de fractura. No ha sido posible atestiguar componentes fósiles en su masa sílicea, sin embargo, a nivel microscópico se han observado silicatos ferrosos, indicadores de su formación en un ambiente marino que permite incluso señalar una posible etapa de formación, ya que esta composición es muy típica del periodo ordovícico.

## DISCUSIÓN

Resumiendo por áreas, en Monegros se han registrado 31 afloramientos, 22 en posición primaria y 9 en secundaria, en los que se han diferenciado 42 variedades tipológicas. El sílex monegrino se formó durante el Mioceño, mayoritariamente en un ambiente de formación continental lacustre (86% de las muestras); resulta testimonial el porcentaje de sílex formado en un ambiente continental evaporítico (14%). Del conjunto monegrino cabe destacar la alta calidad para la talla de los materiales aflorados en el barranco de la Valcuerna (Peñalba) explotados desde el Paleolítico, que se caracterizan por un grano muy fino, superficie lisa y ausencia de alteraciones. Los sílex tableados procedentes de Monte Oscuro (Farlete / Perdiguera), que son de origen lacustre, comparten estas características óptimas para la talla, aunque con una morfología muy diferente, cuyo uso puede relacionarse con los dientes de hoz en *sílex tabular* habituales a partir del Neolítico en los yacimientos del valle medio del Ebro, y apenas conocidos fuera de este entorno, y con algunas láminas retocadas o puñales de esa cronología. Los análisis microscópicos (22 láminas delgadas) de las muestras monegrinas han permitido resolver algunas dudas planteadas por ciertas muestras del conjunto. Destaca especialmente el análisis efectuado sobre los ejemplares de los afloramientos de Monte Oscuro, entre los que se han podido discernir

dos ambientes de formación diferenciados (lacustre y evaporítico), imposibles de diferenciar a escala macroscópica.

En la zona oriental del Prepirineo y su piedemonte, han sido muestreados diez afloramientos con otras tantas tipologías clasificadas. Solo uno de ellos (Güel) se encuentra en posición secundaria. A diferencia de los sílex monegrinos, en esta zona las muestras de sílex cuya diagénesis tuvo lugar en un ambiente continental lacustre son solo tres: la Mentirosa de Estadilla, Sant Miquel de Alberola y Serra Llarga en Castelló de Farfanya. Se atestiguan otros tres casos de sílex formados en ambientes continentales evaporíticos: Güel y Alins 1 y 2, y aparecen por primera vez en nuestro estudio los sílex adscritos a medios sedimentarios marinos: los tres afloramientos de Padarnú y el de Puy de Cinca. De este conjunto solo ha sido posible el análisis microscópico de tres afloramientos (7 láminas delgadas) que confirman las características advertidas macroscópicamente.

El Prepirineo central y occidental es la zona menos representada en nuestro estudio y de una mayor dispersión en cuanto a la localización de muestras y afloramientos, y tres de los cinco son de tipo secundario (Santa Cilia, Arba de Biel y Lastanosa). Precisamente, estas dos últimas han sido adscritas macroscópicamente a medios sedimentarios de formación marina, hecho corroborado por las láminas delgadas que de ellos se extrajeron. Los sílex procedentes de Bentué de Nocito y Peraltilla se crearon en ambientes continentales lacustres. El resto, procedente de Santa Cilia de Panzano, es una única muestra del estudio cuyo medio de formación permanece indeterminado al no presentar rasgos macroscópicos característicos; se desconoce su litología encajante, al haberse recogido en posición secundaria y no haber sido posible la realización de lámina delgada.

## CONCLUSIONES

Las propiedades petrográficas del sílex, de uso imprescindible entre las poblaciones prehistóricas, pueden ser caracterizadas con precisión en la actualidad, lo que permite ubicar en ocasiones su origen dentro de un territorio. De esta manera, se puede establecer una relación entre los afloramientos de estos materiales y el lugar en el que han sido utilizados y abandonados: los yacimientos arqueológicos. En consecuencia, estos análisis

constituyen en la investigación actual uno de los criterios fundamentales a la hora de delimitar el área de acción de un grupo humano en un momento determinado del pasado.

La arqueopetrología se posiciona, pues, como una técnica imprescindible para el desarrollo de las investigaciones sobre las materias primas líticas silíceas y su impacto en las sociedades prehistóricas.

La parte central de la margen izquierda de la cuenca del Ebro se revela como un área de importancia en el aprovisionamiento de materias primas líticas silíceas, por su calidad, abundancia y accesibilidad.

El área de los Monegros adquiere una especial relevancia por el carácter óptimo para la talla de sus sílex, y por su localización centrada en la gran vía de comunicación oeste-este que constituye el valle del Ebro para el noroeste peninsular.

Quedan por delimitar las posibles diferencias entre los sílex que se han dado a conocer como *tipo Monegros* y que vendrían a corresponder con todas las litologías silíceas miocenas del valle medio del Ebro a uno y otro lado del río, materia de estudio de la tesis de uno de los autores del presente artículo (Luis Miguel García-Simón).

Posicionando los yacimientos arqueológicos prehistóricos conocidos en relación con la localización de los afloramientos aquí estudiados y sus productos, se vislumbran posibles relaciones a escala macroscópica de algunas variedades de sílex (especialmente de las incluidas en el llamado *tipo Monegros*) en yacimientos muy distantes: el cotejo microscópico de las muestras, geológicas y arqueológicas, permitirá afinar estas relaciones y su recorrido.

La pretendida litoteca de referencia para la cuenca media del Ebro se muestra imprescindible para dar continuidad a este tipo de investigación, a fin de convertirse en la base de datos para cotejar los sílex geológicos y arqueológicos y convertirse en un referente para los investigadores en la materia sobre esta área del valle del Ebro. Todas las muestras copiadas durante la elaboración de este estudio, y los datos que de ellas se desprenden, han sido clasificadas y archivadas por nuestra parte con el objetivo de que esta colección sea paulatinamente ampliada. Queda por decidir cuál debe ser su alojamiento.

## AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al grupo de investigación Primeros Pobladores del Valle del Ebro (PPVE), especialmente a los doctores Lourdes Montes y Rafael Domingo; igualmente al grupo de investigación Seminari d'Estudis i Recerques Prehistòriques (SERP), en especial a los doctores Xavier Mangado y Marta Sánchez, y al Servei de Làmina Prima, ambos de la Universidad de Barcelona; y al doctor José Antonio Cuchí, del Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural.

Este trabajo fue financiado por una Ayuda de Investigación del Instituto de Estudios Altoaragoneses en su convocatoria de 2013.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LEORZA, R. (2004). Estudio de las materias primas líticas del yacimiento arqueológico de Los Baños. En P. Utrilla y J. M.<sup>a</sup> Rodanés, *Un asentamiento epipaleolítico en el valle del río Martín. El abrigo de Los Baños (Ariño, Teruel)*: 51-58. Universidad de Zaragoza. Departamento de Ciencias de la Antigüedad (Monografías Arqueológicas, 39). Zaragoza.
- MAZO, C., y J. A. CUCHÍ (1992). Sílex y prehistoria. Análisis mineralógico de muestras silíceas de Huesca y Zaragoza. *Bolskan*, 9: 9-50.
- MOLINA, E. (2004). *Micropaleontología*. PUZ. Zaragoza.
- QUIRANTES, J. (1978). *Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario continental de los Monegros*. IFC. Zaragoza.
- RAMOS, A. (1986). La explotación de recursos líticos por las comunidades prehistóricas. Un estudio sobre economía primitiva. *Cuadernos de Prehistoria de Granada*, 11: 237-271.
- RODANÉS, J. M.<sup>a</sup>, M.<sup>a</sup> Á. TILO y N. RAMÓN (1996). El abrigo de Els Secans (Mazaleón, Teruel). La ocupación del valle del Matarraña durante el Epipaleolítico y Neolítico antiguo. *Al-Qannis*, 6: 84-89.
- SÁNCHEZ, M. (2014). La industria lítica del abrigo de las Forcas I (niv. 15 y 16). Primera aproximación arqueopetrográfica. En P. Utrilla y C. Mazo, *La Peña de las Forcas (Graus, Huesca). Un asentamiento estratégico en la confluencia del Ésera y el Isábena*: 105-112. Universidad de Zaragoza. Departamento de Ciencias de la Antigüedad (Monografías Arqueológicas. Prehistoria, 46). Zaragoza.
- SÁNCHEZ, M., y X. MANGADO (2013). Las materias primas de Cova Alonsé. Tipos y aprovisionamiento. En L. Montes y R. Domingo (coords.), *El asentamiento magdalenense de Cova Alonsé*: 41-53. Universidad de Zaragoza. Departamento de Ciencias de la Antigüedad (Monografías Arqueológicas. Prehistoria, 48). Zaragoza.

- TILO, M.<sup>a</sup> Á. (1991). Estudio de los yacimientos líticos de superficie localizados entre Fraga y Candasnos (Huesca). *Bolskan*, 8: 109-164.
- TILO, M.<sup>a</sup> Á., y J. MANDADO (1995). Análisis de las materias primas líticas utilizadas en el yacimiento de Olvena. *Bolskan*, 12: 87-104.

## FRACASOS EN LA REPRODUCCIÓN DEL QUEBRANTAHUESOS (*GYPÆTUS BARBATUS*), POR PREDACIÓN, EN EL PIRINEO CENTRAL (ARAGÓN)

Juan Antonio GIL<sup>1</sup>  
Gonzalo CHÉLIZ<sup>1</sup>

RESUMEN.— En los últimos años se ha producido un progresivo descenso de la productividad del quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*) en los Pirineos, cuyas causas son objeto de discusión científica en la actualidad. Durante el seguimiento y vigilancia del quebrantahuesos en Aragón se han podido documentar varios casos de predación y fracasos en la reproducción en estos años, de los cuales hay muy poca información.

ABSTRACT.— In recent years there has been a steady decline in the productivity of the bearded vulture (*Gypaetus barbatus*) in the Pyrenees, whose causes are the subject of scientific discussion today. Throughout the monitoring and surveillance of the bearded vulture in Aragón, several cases of predation and reproductive failure have been documented in these years, of which very little information is available.

KEY WORDS.— Bearded vulture, predation and reproductive failure, Pyrenees.

Aragón posee la mitad de la población reproductora de quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*) del Pirineo (España, Francia y Andorra). En el Pirineo central se ha producido en los últimos años un incremento de la población

---

<sup>1</sup> Fundación para la Conservación del Quebrantahuesos (FCQ). Plaza de San Pedro Nolasco, 1, 4.º F. E-50001 ZARAGOZA. fcq@quebrantahuesos.org, www.quebrantahuesos.org

reproductora (media anual de crecimiento 4,38%, 1988-2013), pasando de 38 unidades reproductoras (UR), en 1995, a 81 UR en 2013. Al mismo tiempo, se produjo también un aumento de la densidad de las UR, pasando de 2,5 a 7,4 UR / 1000 km<sup>2</sup>. Sin embargo, paralelamente se ha producido un progresivo descenso de la productividad (al menos desde 1994, momento en el cual se inicia un seguimiento más riguroso de los parámetros reproductivos), cuyas causas son objeto de discusión científica en la actualidad. De media, el 19% de las UR no realizaron puesta, el 29% fracasaron en la incubación y el 28% durante la crianza del pollo (2007-2013).

Entre las causas se incluyen factores como molestias humanas de difícil o imposible corrección (GIL, 2011), limitación de recursos tróficos (MARGALIDA y BERTRÁN, 1997), mortalidad de individuos adultos (MARGALIDA y cols., 2008), falta de experiencia de los ejemplares reproductores (MARGALIDA y cols., 2003), fenómenos de regulación denso-dependiente (CARRETE y cols., 2006), enfermedades infecciosas crónicas (BLANCO y cols., 2010),



**Fig. 1.** Ejemplar adulto de quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*).  
(Foto: José Carlos González / FCQ)



acumulación de tóxicos nocivos (ROSCALES y cols., 2009), condiciones meteorológicas desfavorables (STEENHOF y cols., 1997), interacciones intra-específicas (MARGALIDA y GARCÍA, 1999) y predación de huevos o pollos, de la cual existen muy pocos casos documentados: en Sudáfrica se observa cómo un pollo fue predado por *Corvus albicollis* (BROWN, 1990). Según BERTRÁN y MARGALIDA (2004) el comportamiento agresivo del quebrantahuesos con el cuervo es mayor cuando los pollos son más pequeños, lo que sugiere que hay riesgo de predación durante los estadios iniciales del periodo de reproducción.

A lo largo del seguimiento y vigilancia del quebrantahuesos, se han podido documentar varios casos de predación y fracasos en la reproducción en estos últimos años (tabla 1). Entre ellos destacamos la observación realizada el 19 de marzo de 2010 en una UR del Prepirineo de Huesca. Se observa un adulto dentro del nido y el pollo de unos 10 días. A las 9.50 horas el adulto se va del nido para expulsar a un águila real (*Aquila chrysaetos*), posteriormente se posa fuera del nido a unos 20 metros. Vuelve a entrar el adulto al nido a las 12.20 horas. A las 13.15 horas vuelve a salir del nido para expulsar a un cuervo y quedarse de nuevo posado fuera de él. A las 13.30 horas entra el cuervo (*Corvus corax*) en el nido y se lleva el pollo.

**Tabla 1.** Casos de predación en nidos de quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*) en el Pirineo central (Aragón). (Datos obtenidos por técnicos de la FCQ y APN del Gobierno de Aragón)

UR	Fecha	Estado de reproducción	Observación	Resultado de la reproducción
A	19 de marzo de 2010	Pollo con 10 días de edad	Un cuervo ( <i>Corvus corax</i> ) entra en el nido y se lleva el pollo	Fracasa el 19 de marzo de 2010
B	27 de marzo de 2012	Pollo	Una garduña ( <i>Martes foina</i> ) entra en el nido, espanta al adulto de quebrantahuesos y se lleva el pollo	Fracasa el 27 de marzo de 2012
C	Abril de 2012	Pollo con 30 días de edad	Un águila real ( <i>Aquila chrysaetos</i> ) entra en el nido y es expulsada por el adulto de quebrantahuesos	Fracasa posteriormente, durante el mes de abril de 2012*
D	6 de febrero de 2012	Incubación de los huevos	Un águila real ( <i>Aquila chrysaetos</i> ) entra en el nido y es expulsada por el adulto de quebrantahuesos	Fracasa posteriormente, durante el mes de marzo de 2012*

\* No se pudo comprobar si el fracaso se produjo por predación.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a todas las personas y entidades que han colaborado en el desarrollo de estos trabajos, especialmente a los Agentes de Protección de la Naturaleza (APN) del Gobierno de Aragón y al equipo de la Fundación para la Conservación del Quebrantahuesos (FCQ).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTRÁN, J., y A. MARGALIDA (2004). Interactive behaviour between bearded vultures *Gypaetus barbatus* and common ravens *Corvus corax* in the nesting sites: predation risk and kleptoparasitism. *Ardeola*, 51 (2): 269-274.
- BLANCO, J. M., G. BÁGUENA, J. A. GIL, M. ALCÁNTARA, A. SUÁREZ, J. F. RUIZ y J. BERNABÉ (2010). Comenzando a investigar algunas patologías implicadas en la mortalidad neonatal y juvenil del quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*) en el espectro de las unidades reproductoras con baja o nula productividad del Pirineo central (Aragón). En pósteres del XX Congreso Español de Ornitología. Tresp, del 4 al 8 de diciembre de 2010: 105. SEO / BirdLife.
- BROWN, C. J. (1990). Breeding biology of the Bearded Vulture in southern Africa. Part I-III: The nestling period. *Ostrich*, 61: 24-32.
- CARRETE, M., J. A. DONÁZAR y A. MARGALIDA (2006). Density-dependent productivity depression in pyrenean Bearded Vultures: implications for conservation. *Ecological Applications*, 16 (5): 1674-1682.
- GIL, J. A. (2011). Impacto de las actividades humanas en las zonas de cría del quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*) en los Pirineos. *Naturaleza Aragonesa*, 27: 16-21.
- MARGALIDA, A., y J. BERTRÁN (1997). Dieta y selección de alimento de una pareja de quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*) en los Pirineos durante la crianza. *Ardeola*, 44: 191-197.
- MARGALIDA, A., y D. GARCÍA (1999). Nest use, interspecific relationships and competition for nests in the Bearded Vulture (*Gypaetus barbatus*) in the Pyrenees: influence on breeding success. *Bird Study*, 46: 224-229.
- MARGALIDA, A., D. GARCÍA, J. BERTRÁN y R. HEREDIA (2003). Breeding biology and success of the Bearded Vulture (*Gypaetus barbatus*) in the eastern Pyrenees. *Ibis*, 145: 244-252.
- MARGALIDA, A., R. HEREDIA, M. RAZIN y M. HERNÁNDEZ (2008). Sources of variations in mortality of the Bearded Vulture *Gypaetus barbatus* in Europe. *Bird Conservation International*, 18: 1-10.

- ROSCALES, J. L., M. SÁEZ, E. BLÁNQUEZ, M. FERRER, J. A. GIL y B. JIMÉNEZ (2009). Evaluación no destructiva de la exposición al plomo en rapaces amenazadas en parques nacionales: el águila imperial (*Aquila adalberti*) y el quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*). En L. Ramírez y B. Asensio (eds.), *Proyectos de investigación en parques nacionales: 2005-2008*: 215-228. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Madrid.
- STEENHOF, K., M. N. KOCHERT y T. L. MCDONALD (1997). Interactive effects of prey and weather on golden eagle reproduction. *J. Anim. Ecol.*, 66: 350-362.



## UN ANTIGUO ESCORIAL EN BALLIBIERNA (BENASQUE, HUESCA)

José Antonio MANSO<sup>1</sup>  
José Antonio CUCHÍ<sup>1</sup>

RESUMEN.— El presente artículo ofrece información preliminar sobre un escorial de una antigua fundición de hierro en Ballibierna (Benasque). No se han encontrado referencias escritas sobre la misma.

ABSTRACT.— The present paper offers preliminary information on an old slag deposit located in the valley of Ballibierna, at Benasque. No written information has been found on mining at this area.

KEY WORDS.— Slag deposit, ironwork, Ballibierna, Benasque (Spain).

### INTRODUCCIÓN

Son abundantes las referencias a minas en Benasque: ASSO (1798), BADA (1805), ALDAMA (1846), MAESTRE (1845), MADDOZ (1845-1850), MALLADA (1878), IGME (1974), CALVO y cols. (1988), NIETO (1996), MATEO y cols. (2007), SUBÍAS y cols. (2008), MATA-PERELLÓ y CARDONA (2009). Se citan minas de plomo y una fundición en Sahún; la mina de plata de Labert, situada al noreste de Eriste; las minas de arsenopirita de Cerler y las del Portillón de Benasque. Salvo la mina de Cerler, a mediados del siglo XIX parece que habían cerrado todas las explotaciones.

---

<sup>1</sup> Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. [cuchi@unizar.es](mailto:cuchi@unizar.es), [manso@unizar.es](mailto:manso@unizar.es)

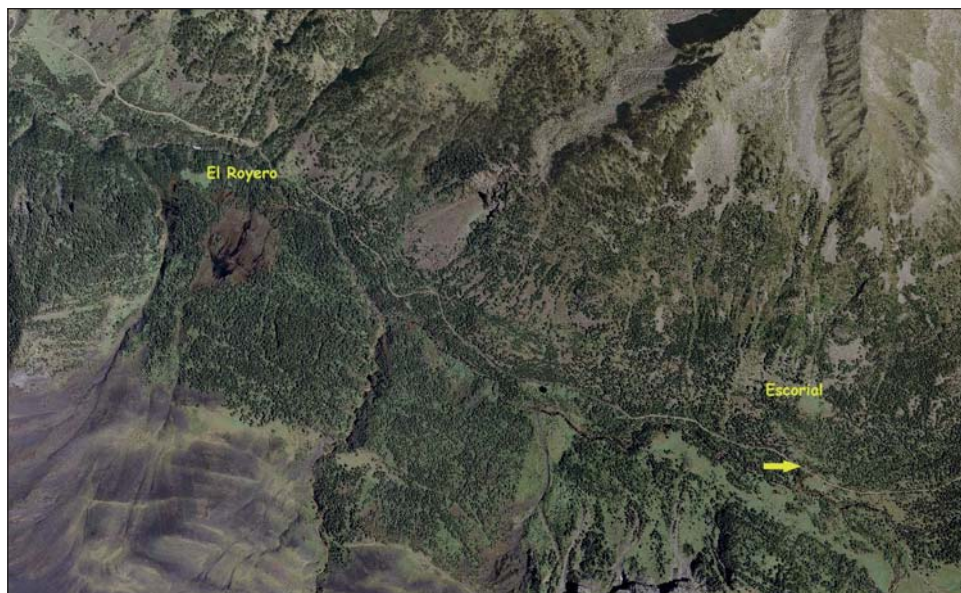
Hay que tener en cuenta que las minas se abren y cierran, respondiendo a necesidades puntuales de tipo local, oportunidades de mercado, ilusiones personales, actividades puramente especulativas e incluso a la experiencia técnica de algún promotor. Al servicio de las explotaciones mineras se organizan diversas instalaciones de tratamiento y concentración del mineral, alojamiento del personal y otras funciones auxiliares. La tipología, las dimensiones y la calidad de estas dependen de la importancia de la mina. A modo de ejemplo, ALDAMA (1846) lista las instalaciones de la mina de galena de San Andrés, en el término de Eriste, donde se incluye un horno de manga conectado con una trompa hidráulica o roncadera asociada a un salto de agua. Más detallada es la información que presenta NIETO (1996) para minas cercanas.

En cualquier caso, las instalaciones mineras se abandonan con el cierre de la mina y suelen ser rápidamente recicladas o vandalizadas. Las edificaciones pueden ser reutilizadas para usos pastoriles, pero, en general, se arruinan rápidamente por su situación a la intemperie. De la mina y sus instalaciones solo quedan con el tiempo las bocaminas, escombreras y ruinas, que desaparecen entre la vegetación y los derrubios de ladera. En muchas ocasiones, solo sobrevive el topónimo. Pero hay que tener en cuenta, como revelan los trabajos de GALOP y cols. (2002) y PÈLACHS y cols. (2009), que la minería y la metalurgia han tenido un importante pasado en los Pirineos, lo que ha afectado de una manera clara a la vegetación e incluso al paisaje, dadas las importantes cantidades de carbón vegetal que se obtienen a costa de los bosques cercanos, sin contar con el efecto de la contaminación.

Este artículo señala la existencia de los restos de una fundición de hierro en el valle de Ballibierna, en Benasque, donde hasta el presente no se han localizado referencias sobre una explotación de este tipo.

#### MARCO DEL ESTUDIO

Ballibierna es un valle lateral del Ésera, situado al sur del macizo de la Maladeta, cuyo detallado estudio geomorfológico fue realizado por LAMPRE (1998). Este bonito valle está encajado en el contacto entre los granitos del citado macizo y las rocas metamórficas de la Sierra Negra. Por intrusión de fluidos relacionados con magmas es frecuente la presencia de mineralizaciones en las aureolas metamórficas de los plutones. En la ladera sur del valle destaca la zona de El Royero, considerada parte de un importante



**Fig. 1.** Ubicación del escorial en Ballibierna. (Iberpix. Instituto Geográfico Nacional)

deslizamiento de ladera por GUTIÉRREZ-SANTAOLALLA y cols. (2005). Aquí afloran aguas ácidas con un contenido elevado en metales pesados (PUYAL y cols., 1998). Ambos trabajos indican la presencia de mineralizaciones ferruginosas en esta zona. La existencia de minerales de hierro está también asociada con una característica coloración pardo-rojiza en los cantos rodados de diversos manantiales, que también impregnan el barranco Rinero, afluente del Ésera en el puente de San Chaime.

También en el valle de Ballibierna se encuentra una importante acumulación de escorias, que se sitúa en las proximidades de la pista y cerca del refugio (coordenadas UTM: Huso 31, X: 304810, Y: 4720360, Z: 1959 msnm). La figura 1 presenta su ubicación, y en las figuras 2 y 3 se pueden observar detalles del depósito.

El depósito, que ha sido parcialmente utilizado como recebo de la cercana pista, tiene un espesor que supera los 4 metros de altura y un área que puede exceder de los 100 m<sup>2</sup>. Hoy se encuentra reforestado espontáneamente por pies de pino negro (*Pinus uncinata*) que podrían superar los 100 años de antigüedad (Santiago Fábregas, comunicación personal *in situ*). Sin embargo, hay que tener en cuenta que la zona ha sido extensamente



**Fig. 2.** Acumulación de escorias en Ballibierna, desde la pista.



**Fig. 3.** Restos de edificación en acumulación de escorias en Ballibierna.





**Fig. 4.** Muestra de colada de Ballibierna.

talada hace unos treinta años. En su zona superior se encuentran restos de algún tipo de edificación.

La escombrera presenta restos de fundición de diversas características. Para estudiarlas, se seleccionó una muestra de colada cuya imagen puede verse en la figura 4.

La muestra, seleccionada por su aspecto y tamaño, presenta claras señales de material fluido. En su interior aparecen restos de carbón vegetal que pudieran servir para una datación. El carbón vegetal es también abundante en algunos tramos del camino, bien por acción humana o por fuego forestal.

#### MÉTODOS ANALÍTICOS

Una parte de la muestra de la figura 4 se ha remitido al servicio de análisis del Instituto de Ciencias de Materiales de Aragón (Universidad de

Zaragoza). La muestra se molió, a máxima amplitud, en atmósfera de helio en un molino de bolas durante una hora. El polvo resultante se analizó en un espectrómetro secuencial de fluorescencia de rayos X de Thermo Electron, serie ARL, modelo ADVANT'XP con tubo de rayos X de rodio. Para interpretar los datos, se ha utilizado el programa UNIQUANT para análisis semicuantitativo sin patrones (análisis secuencial desde el Mg al U).

Complementariamente, sobre una parte de la muestra molida se realizó un análisis del contenido en hierro por vía húmeda mediante absorción atómica por el método de la adición estándar. 1,0000 gramos de muestra molida se atacaron con agitación y hasta disolución de la muestra sólida, con 10 mililitros de ácido clorhídrico concentrado al 36,5% y 3 mililitros de ácido nítrico al 65%. Una vez disuelta la muestra, la solución se trasvasó a un matraz aforado de 500 mililitros y se recogió la totalidad de la muestra mediante lavados sucesivos con agua destilada y posterior enrase del matraz. En cuatro matraces aforados de 100 mililitros se añadió la cantidad necesaria de un patrón hierro de 515 mg/L (200, 400, 600 y 800 microL) para que una vez enrasados se obtuvieran cuatro disoluciones de 1,03 mg/L, 2,06 mg/L, 3,09 mg/L y 4,12 mg/L. A continuación, se añadieron 50 microlitros de la muestra a cada matraz de 100 mililitros con posterior enrase con agua destilada. Las concentraciones de hierro se midieron en un espectrofotómetro de absorción atómica VARIAN ESPECTRA AA110 ajustado para la determinación de hierro. La relación entre absorbancia y concentración se representó en una hoja Excel donde se representa la señal en función de la concentración y se calcula la recta de regresión y la ecuación de la recta. En esta ecuación, al igualar la variable y a 0, se obtiene el valor de la concentración de muestra en valor absoluto. La riqueza en hierro de la muestra se obtiene recalculando en sentido inverso las diluciones efectuadas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

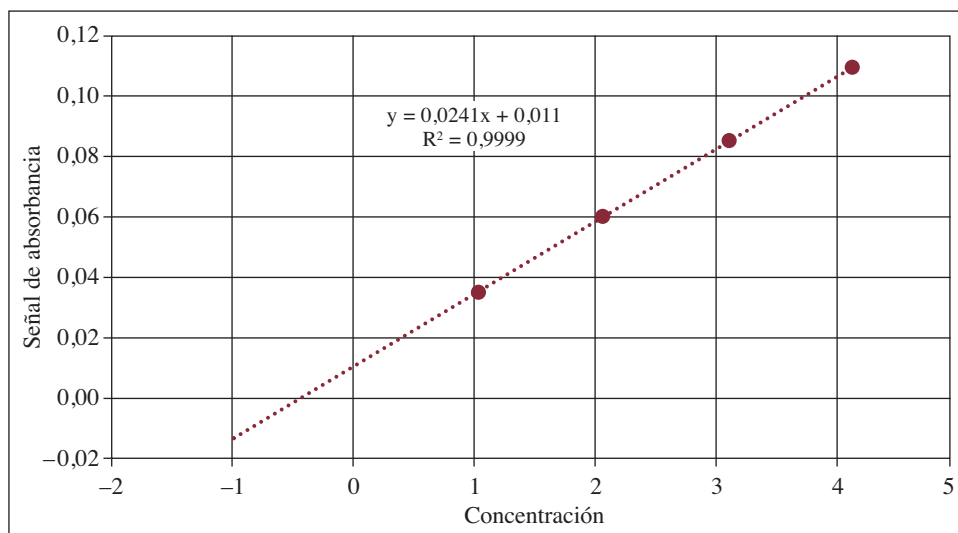
La tabla I presenta los resultados del análisis por fluorescencia de rayos X. Los resultados solo abarcan elementos de peso atómico superior al sodio y se expresan en porcentaje. El análisis solo ha detectado el 68% de la muestra. El resto corresponde a elementos de menor peso atómico (H, O, C...). Los resultados deben considerarse como semicuantitativos, tanto por el método analítico como por la poca representatividad de la muestra.

**Tabla 1.** Resultado por elementos del análisis mediante fluorescencia de rayos X de una parte de la escoria de la figura 4.

<i>Elemento</i>	<i>Fe</i>	<i>Si</i>	<i>Al</i>	<i>Ca</i>	<i>K</i>	<i>Mg</i>	<i>Ti</i>	<i>S</i>	<i>Mn</i>
Porcentaje del peso	48,5	11,9	4,7	0,9	0,9	0,8	0,2	0,07	0,04
Error estándar	0,35	0,17	0,11	0,05	0,05	0,04	0,01	0,03	0,003
<i>Elemento</i>	<i>Y</i>	<i>P</i>	<i>Ba</i>	<i>Ce</i>	<i>Sr</i>	<i>Nd</i>	<i>V</i>	<i>Co</i>	<i>La</i>
Porcentaje del peso	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,009	0,009
Error estándar	0,001	0,001	0,002	0,003	0,0007	0,002	0,001	0,002	0,002

Es evidente la dominancia de hierro entre los metales: un 48,5% del total de la muestra, que supone un 71% de lo analizado. El bajo contenido en fósforo se considera característica típica de los minerales pirenaicos (véanse, por ejemplo, los datos en LEROY y cols., 2012). La presencia de sílice, aluminio, calcio y potasio podría estar relacionada con la presencia de minerales (sílice y silicatos de calcio y potasio) del granito local, que debieron de utilizarse para las paredes del horno y quizás como material refractario.

La figura 5 presenta la correlación entre la absorbancia y la concentración para el análisis químico por vía húmeda.



**Fig. 5.** Regresión entre la señal de absorbancia y la concentración de hierro en una muestra de escoria de Ballibierna.

Al igualar la variable  $y$  a 0 se obtiene un valor absoluto de la concentración de muestra de  $x = 0,4564$  mg/L. Teniendo en cuenta las distintas diluciones que se han realizado en el proceso, se consigue un contenido de 45,64%. Este valor es muy aproximado a lo obtenido por fluorescencia de rayos X.

Con el estado actual de conocimientos, prácticamente nada se puede precisar sobre la tecnología de la fundición. Desconocemos el mineral utilizado y su proveniencia, que pudiera ser de la zona de El Royero. Esta fundición puede enmarcarse dentro de la minería y la producción de hierro pirenaicas, que tuvieron un auge importante en el vecino Ariège (DEMANGEON, 1921). Históricamente la tecnología ha evolucionado (véanse, por ejemplo, FRANÇOIS, 1843, y LEROY, 2010). Básicamente hay dos posibilidades: una reducción sin fusión, tipo forja catalana, o una fundición, con la posible ayuda de una trompa de agua. Las instalaciones pudieran estar complementadas por un martinete. La forja catalana, también llamada *vizcaína*, es, en general, un procedimiento más antiguo que el segundo caso. El aspecto de la muestra de la figura 4 sugiere una fusión del metal y, por tanto, el segundo procedimiento. Probablemente, se obtenía un metal base que necesitaba un refinado, y este se realizaba en otro lugar.

## CONCLUSIONES

El presente artículo señala la presencia de una antigua instalación básica para procesar mineral de hierro situada en un valle lateral de Benasque, donde hasta el presente no se han encontrado referencias bibliográficas sobre minas. Por el momento, no es fácil sugerir una edad para la instalación. Una vez más, hay que indicar la necesidad de estudios más detallados.

## AGRADECIMIENTOS

Como siempre, ha sido inestimable la ayuda de Ana Oliva, Ester Puyol y Susana Navarro, de la biblioteca y centro de documentación del Instituto de Estudios Altoaragoneses. Asimismo, hay que agradecer la paciencia de José Barrabés, de Benasque, y Jorge Mayoral, del Hospital de Benasque, que han respondido a nuestras preguntas. José Luis Cuchí ayudó en cuestiones de la metalurgia del hierro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDAMA, J. (1846). Apuntes geognóstico mineros de la provincia de Huesca y parte de la de Zaragoza o el territorio designado con el título de Alto Aragón. En *Anales de Minas*, tomo IV: 191-233. Imprenta de D. A. Espinosa y compañía. Madrid.
- ASSO, I. J. (1798). *Historia de la economía política de Aragón*. Imprenta de Francisco Magallón. Zaragoza. 503 pp.
- BADA, A. (1805). *Tratado de las virtudes y usos de las aguas minerales de la Villa de Benasque del partido de Benavarre en el reyno de Aragón*. Oficina de Medardo Heras. Zaragoza. 48 pp.
- CALVO, M., J. BESTEIRO, E. SEVILLANO y A. POCOVÍ (1988). *Minerales de Aragón*. Mira. Zaragoza. 207 pp.
- DEMANGEON, A. (1921). La répartition de l'industrie du fer en France en 1789. *Annales de Géographie*, 30 (168): 401-415.
- FRANÇOIS, J. (1843). *Recherches sur le gisement et le traitement direct des minerais de fer dans les Pyrénées et particulièrement dans l'Ariège: suivies de considérations historiques, économiques et pratiques sur le travail du fer et de l'acier dans les Pyrénées*. Carilian-Goeury et V. Dalmont. París. 470 pp.
- GALOP, D., F. MONNA, A. BEYRIE, L. CAROZZA, V. MOUGIN, G. PARENT y F. MAREMBERT (2002). Métallurgie et histoire de l'environnement au cours des cinq derniers millénaires en Pays Basque nord (Vallée de Baigorri, Pyrénées Atlantiques, France): resultats préliminaires d'une approche interdisciplinaire. *Archeologia Postmedievale*, 6: 155-169.
- GUTIÉRREZ-SANTAOLALLA, F., E. ACOSTA, S. RÍOS, J. GUERRERO y P. LUCHA (2005). Geomorphology and geochronology of sackung features (uphill-facing scarps) in the Central Spanish Pyrenees. *Geomorphology*, 69: 298-314.
- IGME (1974). *Mapa metalogenético de España. Escala 1:200000. Hoja 23 (Huesca)*. IGME (Memoria, 23). Madrid. 1 mapa.
- LAMPRE, F. (1998). *Estudio geomorfológico de Ballibierna*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Zaragoza. 200 pp.
- LEROY, S. (2010). *Circulation au Moyen Âge des matériaux ferreux issus des Pyrénées ariégeoises et de la Lombardie. Apport du couplage des analyses en éléments traces et multivariées*. Tesis doctoral. Universidad Tecnológica de Belfort-Montbeliard. 400 pp.
- LEROY, S., S. X. COHEN, C. VERNA, B. GRATUZE, F. TÉREYGEOL, P. FLUZIN, L. BERTRAND y P. DILLMANN (2012). The medieval iron market in Ariège (France). Multidisciplinary analytical approach and multivariate analyses. *Journal of Archaeological Science*, 39 (4): 1080-1093.
- MADOZ, P. (1845-1850). *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar*. Establecimiento tipográfico de P. Madoz y L. Sagasti. Madrid.

- MAESTRE, A. (1845). Descripción geognóstica y minera del distrito de Cataluña y Aragón. *Anales de Minas*, 3: 193-278.
- MALLADA, L. (1878). *Memorias de la Comisión del mapa Geológico de España. Descripción física y geológica de la provincia de Huesca*. Edición facsímil. IEA (Rememoranzas, 4). Huesca. 400 pp.
- MATA-PERELLÓ, J. M.<sup>a</sup>, y V. CARDONA (2009). Recorregut de recerca geològica i mineralògica per la comarca de la Vall de Benàs: des d'Erist al Portilló de Benàs. *ALGEPES. Revista de Geologia*, serie B, 477: 1-5.
- MATEO, E., C. BIEL, I. FANLO e I. SUBÍAS (2007). El yacimiento de Fe-As-Cu-Sb de Cerler, Alto Aragón occidental. *Macla*, 7: 108.
- NIETO, J. J. (1996). El proceso sidero-metalúrgico altoaragonés: los valles de Bielsa y Gistaín en la Edad Moderna. *Llull*, 19: 471-507.
- PÈLACHS, A., J. NADAL, J. M. SORIANO, D. MOLINA y R. CUNILL (2009). Changes in Pyrenean woodlands as a result of the intensity of human exploitation: 2000 years of metallurgy in Vallferrera, northeast Iberian Peninsula. *Vegetation History and Archaeobotany*, 15 (5): 403-416.
- PUYAL, M. Á., J. A. CUCHÍ y J. A. MANSO (1988). Hidroquímica de las aguas naturales del Pirineo aragonés. *Lucas Mallada*, 10: 173-187.
- SUBÍAS, I., I. FANLO, E. MATEO y C. BIEL (2008). Explotaciones mineras del entorno del Hospital de Benasque: geología y encuadre histórico. *Macla*, 9: 239-240.
- UTRILLA, J. F. U. (2006). La moneda y la circulación monetaria en el Reino de Aragón en el siglo XI: notas documentales. *Aragón en la Edad Media*, 19: 539-554.

## **ESTADO TRÓFICO Y CALIDAD ECOLÓGICA DEL RÍO GÁLLEGO A SU PASO POR LA PROVINCIA DE HUESCA**

Marta MICHAVILA<sup>1</sup>  
Rocío LÓPEZ-FLORES<sup>2</sup>  
José Antonio CUCHÍ<sup>3</sup>

RESUMEN.— El río Gállego abarca una amplia diversidad y complejidad de ecosistemas en su cuenca, dadas las diferencias climáticas en su curso. Además, se encuentra regulado desde la cabecera. En este artículo se abordan los efectos que ocasionan las cadenas de embalses y las presiones antrópicas sobre la calidad ecológica y el estado trófico de este río altamente alterado. Se estudiaron a lo largo de un año estacionalmente los parámetros físico-químicos, el estado trófico y la calidad ecológica en seis puntos situados aguas abajo de los diferentes embalses existentes. Se llevó a cabo un estudio de macroinvertebrados mediante los índices IBMWP, diversidad y riqueza taxonómica, además de la estructura funcional de la comunidad. Los resultados mostraron que las cadenas de embalses generan eutrofización aguas abajo de las mismas, conllevando un aumento de la diversidad y la disponibilidad de alimento para los organismos, y, en consecuencia, una alteración de la calidad ecológica esperada, que es menor en la cabecera que en los puntos centrales. Además, se observó cómo el río Gállego está siendo objeto de un grave deterioro provocado por los vertidos de aguas residuales

---

<sup>1</sup> C/ Félix Latassa, 26. E-50006 ZARAGOZA. michavilamarta@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Instituto de Ciencias Ambientales (IUCA). Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. rocio.lopez@unizar.es

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. cuchí@unizar.es

urbanas e industriales en parte sin tratamiento previo, y que estos son más intensos en la zona de la cabecera. Se pudo comprobar cómo a lo largo de este curso fluvial las especies generalistas desplazan a las más sensibles, indicadoras de buena calidad.

ABSTRACT.— The Gállego River covers a wide variety and complexity of ecosystems along the whole river, due to climatic differences in its course. In addition, it is regulated from the header. This paper addresses the effects which are caused by chains of dams and anthropogenic pressures on the ecological quality and trophic status of this highly transformed river. They were studied seasonally over a year period several physicochemical parameters, the trophic status and the ecological quality in six points located downstream of the different existing reservoirs. A macroinvertebrate study was conducted, using indexes IBMWP, diversity and taxonomic richness, addition to the functional structure of the community. Results showed that the chains of dams generate an eutrophication downstream from them, which leads to an increase on diversity and food availability for the organisms, and in consequence, it leads to a perturbation of the expected ecological quality, which was lower in the header area. Moreover, it was observed how the Gállego River is under a serious deterioration caused by discharges of urban and industrial wastewater only partially treated, being more intense in the header area. It was verified that along this river course, generalist species displaced more sensitive and indicator species of good quality.

KEY WORDS.— Aquatic macroinvertebrates, ecological quality, dams, trophic status, Gállego River (Spain).

## INTRODUCCIÓN

El mantenimiento de los patrones naturales de los ecosistemas fluviales resulta esencial para la viabilidad de muchas especies. La biodiversidad y la heterogeneidad características de estos hábitats dependerán de un modo directo de la conectividad entre cauce, llanura de inundación y lecho del río (BUNN y ARTHINGTON, 2002). A la hora de tratar un sistema fluvial a escala de cuenca, la dimensión longitudinal adquiere mayor importancia. Representa el eje a través del cual se mantiene la continuidad de flujos, se modifica la energía desde las partes altas a las bajas y se organizan las comunidades biológicas (GONZÁLEZ y GARCÍA, 2007). Surge así el concepto de *río continuo*, según el cual todos los cambios ocurridos en un tramo fluvial determinado repercutirán aguas abajo (VANNOTE y cols., 1980; MINSHALL y cols., 1983; WARD, 1989).



El empleo en conjunto de la cuantificación de parámetros fisicoquímicos y la utilización de bioindicadores resulta muy útil para lograr un estudio integral del medio. En concreto, los macroinvertebrados poseen ciclos de desarrollo lo suficientemente extendidos para detectar alteraciones producidas tiempo atrás: necesitan alrededor de un mes para volver a recolonizar el lugar afectado (ALBA-TERCEDOR, 1996). Mediante el estudio de la diversidad taxonómica, la riqueza de especies y el índice IBMWP (Iberian Biomonitoring Working Party) (ALBA-TERCEDOR y cols., 2002) se puede obtener una visión general de la calidad ecológica del ecosistema. Otro bioindicador importante es el perifiton. Se trata del conjunto de algas, bacterias y hongos que crece en las rocas, troncos, macrófitos y estructuras del cauce unidas al sustrato por una matriz de polisacáridos. La concentración de clorofila que contenga será proporcional a la biomasa algal y será determinante a la hora de diagnosticar el estado trófico del río (DODDS y cols., 1998).

Las perturbaciones naturales son necesarias para mantener el equilibrio en estos ecosistemas, no ocurriendo así con las antrópicas como es la regulación de ríos mediante infraestructuras hidráulicas (SLOTO, 1987; WEAVER y GARMAN, 1994; OSOZ y cols., 2006). Los embalses y las centrales hidroeléctricas alteran el régimen natural de caudales (PETTS, 1984; WARD y STANFORD, 1979; LIGON y cols., 1995; WARD y STANFORD, 1995; KONDOLF, 1997; BATALLA y cols., 2004). Generan un aumento de zonas lénticas frente a lóxicas y la ausencia de crecidas periódicas genera un ciclo cerrado de condiciones de contaminación-eutrofización, al propiciarse entre otros, un desarrollo excesivo de algas (PETTS, 1984; DÍAZ-HERNÁNDEZ, 2005). Las especies autóctonas y las más sensibles (ALBA-TERCEDOR, 1996) se extinguen o se desplazan, mientras que las generalistas y más tolerantes predominan (AGIRRE y GARCÍA DE BIKUÑA, 2000), con lo que disminuye la diversidad de la comunidad de organismos.

Sin embargo, no ocurre lo mismo cuando se suceden en un curso fluvial varios embalses. En este caso, los tramos fluviales río abajo irán sumando las especies colonizadoras de los tramos superiores, lo que tendrá como consecuencia el aumento de la diversidad (MARGALEF, 1983). No obstante, este cambio no se verá reflejado en un aumento del índice de calidad ecológica IBMWP, ya que tiene en cuenta los requerimientos ecológicos de

cada familia, otorgándoles un valor mayor a los taxones indicadores de calidad de agua más alta (CHE, 2009).

El objetivo principal de este estudio consistió en analizar los efectos derivados de las presiones antrópicas y la consecución de embalses sobre la biodiversidad y la calidad ecológica del río Gállego. Se realizó un estudio de la comunidad de macroinvertebrados en seis tramos del río y su evolución estacional durante un año. Se determinó el estado trófico, el índice IBMWP de calidad ecológica y la diversidad de macroinvertebrados de cada tramo. Por último, se analizó la variación de la composición taxonómica y estructura funcional de la comunidad de macroinvertebrados a lo largo del curso fluvial para observar la respuesta de la comunidad a las modificaciones de su hábitat y sus requerimientos físicos y ecológicos.

## MARCO DE ESTUDIO

### *El río Gállego*

El río Gállego es uno de los principales afluentes del río Ebro por su margen izquierda (fig. 1). Nace en la frontera con Francia en el Portalet y desemboca en el Ebro en Zaragoza. Las cotas máximas de su cuenca superan los 3000 m<sup>2</sup>, mientras que su desembocadura se encuentra a 190 msnm. En sus 192 kilómetros de recorrido, fundamentalmente de norte a sur, atraviesa todas y cada una de las unidades morfoestructurales del norte de Aragón, desde la zona axial pirenaica hasta el centro de la depresión del Ebro (OLLERO y cols., 2004). Sus aproximadamente 4000 km<sup>2</sup> de cuenca ofrecen una enorme diversidad y complejidad de ecosistemas, desde glaciares de alta montaña hasta estepas, dadas las diferencias climáticas en su curso desde su cabecera montañosa a la aridez del valle del Ebro. Esta diversidad permite que cuente con diferentes categorías de ecotipos según CEDEX (2005); GONZÁLEZ y GARCÍA (2007).

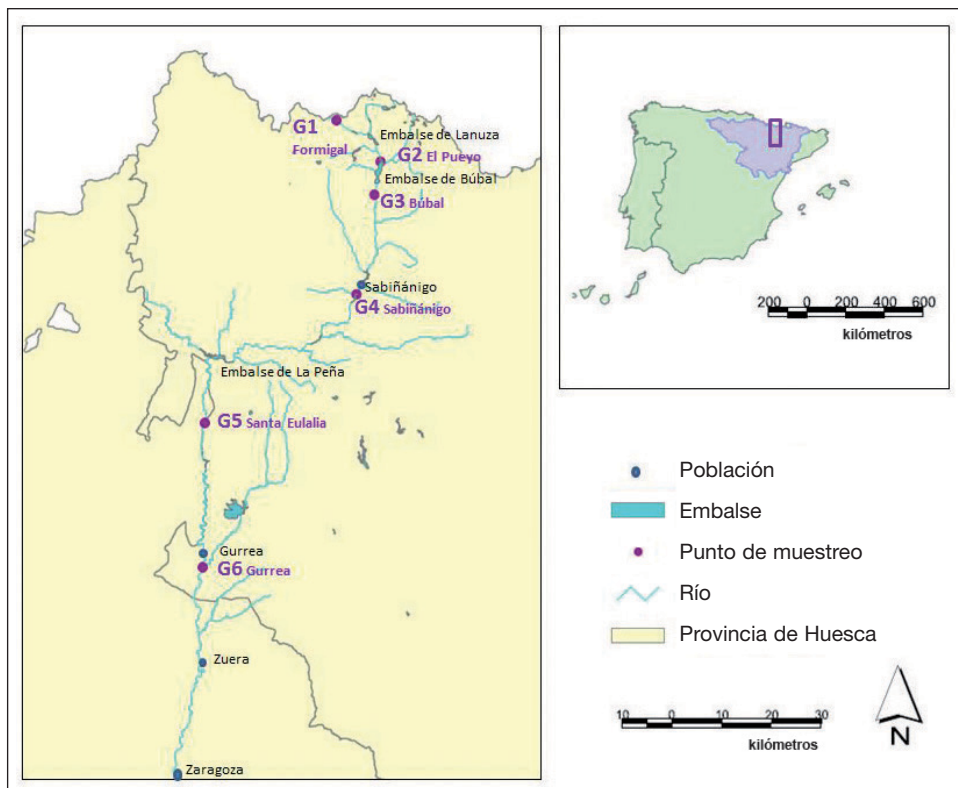
Este río, como todos los del centro del valle del Ebro, ha sido sometido a una intensa acción humana, entre las que se encuentran la construcción de embalses de diversas cabidas, las derivaciones de caudal para producción de energía eléctrica y/o regadíos, así como la recepción de diversos vertidos urbanos e industriales. Existe muy poca información sobre los efectos que estas actividades antrópicas provocan en la calidad del agua del río.

El Gállego nace en las inmediaciones de las Ventas del Portalet y su cabecera se encuentra dentro del dominio esquiable de Formigal. Aguas Limpias y Caldarés, afluentes de alta montaña y también cabeceras secundarias de este río, están ampliamente represados para producir energía eléctrica con reducción del flujo de agua en algunos tramos e importantes variaciones de caudal en función del turbinado. Aguas abajo de Sallent de Gállego, el río entra en los embalses de Lanuza, finalizado en 1980 con un volumen útil de 16 hm<sup>3</sup>, y Búbal (1971, 62 hm<sup>3</sup>). Ambos tienen usos agrícolas y energéticos, aunque la gestión del primero está condicionada por un festival veraniego. Luego recibe los vertidos urbanos de Biescas y los urbanos e industriales de Sabiñánigo, así como aportes subterráneos de varios vertederos cercanos al cauce que contienen lindano y mercurio (FERNÁNDEZ y cols., 2013). A partir de Sabiñánigo comienza otra serie escalonada de azudes y centrales que finaliza en Carcavilla, aguas abajo del embalse de La Peña (1913, 15 hm<sup>3</sup>). Atraviesa las Sierras Exteriores en un pintoresco cañón bajo los Mallos de Riglos. En el embalse de Ardisa (1931, 3 hm<sup>3</sup>), el canal de enlace al embalse de Sotonera detrae hasta 90 m<sup>3</sup>/s. En aguas bajas, un caudal pasante de 10 m<sup>3</sup>/s alimenta los regadíos del bajo Gállego, que lo detraen sucesivamente en azudes en Ontinar de Salz (acequias de Camarera y Candevania), Torre del Rabal (Rabal) y Cartuja de Aula Dei (Urdana).

Los desembalses inciden en el caudal de los diversos tramos del río. Se considera que la capacidad reguladora, tanto de Lanuza como de La Peña, apenas modifica el régimen fluvial (GARCÍA y MORENO, 2003).

### *Área de estudio*

Se eligieron seis puntos a lo largo del curso del río Gállego (figs. 1 y 2), en la provincia de Huesca, teniendo en cuenta diferentes criterios. El principal fue la existencia de un embalse aguas arriba de cada uno, al tratarse del impacto más relevante valorado en este trabajo. Se tuvo en cuenta su accesibilidad y se evitó situarlos inmediatamente aguas abajo de perturbaciones hidromorfológicas o fisicoquímicas (CHE, 2009). Cada punto se subdivide a su vez en otros tres subpuntos, de cara a que aparezcan los suficientes microhábitats en donde poder realizar un muestreo representativo del tramo (PUJANTE y cols., 1995).



**Fig. 1.** Localización de los puntos de muestreo en el curso del río Gállego. Se muestran las poblaciones principales y los embalses más importantes en su recorrido.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se llevaron a cabo muestreos estacionales a lo largo de un año, desde el otoño de 2012 al verano de 2013, coincidiendo con el final de noviembre, principio de marzo, final de mayo y final de agosto.

### *Parámetros físicoquímicos*

Se determinaron el pH, la conductividad, la temperatura y la concentración de oxígeno disuelto en cada uno de los tres puntos de los tramos, mediante una sonda multiparamétrica HACH-Lange (HACH-Lange, USA).



**Fig. 2.** Detalle de cada uno de los seis puntos de muestreo.

De arriba abajo y de izquierda a derecha, Formigal (G1) y El Pueyo de Jaca (G2) en la estación de invierno; Búbal (G3) en primavera; Sabiñánigo (G4), Santa Eulalia de Gállego (G5) y Gurrea de Gállego (G6) en otoño.

### *Perifiton y macroinvertebrados*

Mediante muestreos de perifiton se obtuvo el estado trófico de la masa de agua en cada punto del muestreo. Las muestras se extrajeron y analizaron siguiendo los protocolos estándar (ELOSEGI y SABATER, 2009) y considerando una superficie de 25 cm<sup>2</sup>. Se transformaron los valores obtenidos de absorbancia a concentración por unidad de área mediante las fórmulas desarrolladas en JEFFREY y HUMPHREY (1975). El estado trófico se obtuvo por comparación con los valores determinados en DODDS y cols. (1998). En cuanto a los macroinvertebrados, se realizaron muestreos según el protocolo establecido por ALBA-TERCEDOR (1996), abarcando una superficie total de 2,6 m<sup>2</sup> por punto. Se utilizaron dos redes sùber de superficie conocida (25 × 25 cm y 30 × 30 cm) y se realizaron 20 kiks por muestreo. Tras la limpieza manual de las muestras en laboratorio, se utilizaron para su clasificación a nivel de familia: la clave dicotómica para la identificación de macroinvertebrados de la cuenca del Ebro (OSCOZ y cols., 2009) y las claves dadas de TACHET y cols. (2000). De este último se extrajo la información referente a los requerimientos ecológicos de las familias de macroinvertebrados (estrategia trófica, tolerancia a la contaminación, microhábitat y nivel de eutrofia).

**Tabla 1.** Rangos del estado ecológico según el índice IBMWP para los diferentes ecotipos establecidos en la cuenca del Gállego (CHE, 2007).

<i>Estado ecológico</i>	<i>Baja montaña mediterránea</i>	<i>Montaña mediterránea calcárea</i>	<i>Ejes mediterráneos poco mineralizados</i>	<i>Montaña húmeda calcárea</i>	<i>Ríos de alta montaña</i>
<i>Muy bueno</i>	66	66	91	101	136-111
<i>Bueno</i>	65-56	65-56	90-71	100-81	110-86
<i>Moderado</i>	55-41	55-41	70-55	60-61	85-66
<i>Deficiente</i>	40-20	40-20	54-25	60-31	65-35
<i>Malo</i>	19-0	19-0	24-0	30-0	34-0

Además, se procedió al conteo de todos los individuos presentes para determinar su abundancia. Se determinó el índice de calidad ecológica IBMWP, siguiendo los protocolos y análisis establecidos por la Confederación Hidrográfica del Ebro. Se comparó el valor obtenido en cada punto con los rangos establecidos para cada ecotipo de la cuenca del Gállego (tabla 1). Se calcularon, además, los índices biológicos de riqueza y diversidad taxonómica.

### *Análisis estadístico*

Se utilizó análisis de varianza (ANOVA) para muestras apareadas con el objetivo de determinar las diferencias de las variables continuas (pH, conductividad, clorofila, oxígeno disuelto, temperatura, IBMWP, diversidad taxonómica y riqueza) respecto a las diversas categorías de los factores (*estación y punto de muestreo*). Se comprobó la normalidad mediante el test de Shapiro-Wilks y la homogeneidad de varianzas mediante el test de Levene. Las variables que no cumplieron estos supuestos fueron transformadas ( $\log_{10}$ ). Se utilizó el test no paramétrico de Kruskal-Wallis cuando la transformación de las variables tampoco cumplía los supuestos de normalidad y/u homogeneidad de varianzas. Finalmente, se llevó a cabo una comparación por pares mediante el test *t* para muestras relacionadas con el objetivo de determinar posibles agrupaciones entre las categorías de cada factor.

Para analizar la estructura de la comunidad de macroinvertebrados en el curso del río Gállego se utilizó un FCA o análisis de correspondencia *fuzzy*

(difuso), además de un test de coinerencia. Este tipo de análisis multivariable surge para relacionar conjuntos de datos que son difusos por naturaleza, es decir, en los que se encuentra información sobre especies (familias, en este caso) que asumen varias categorías de una misma variable con diferente grado de afinidad. Permite analizar todos los rasgos biológicos tenidos en cuenta al mismo tiempo y su relación con las familias presentes en los puntos de muestreo (USSEGLIO y cols., 2000). Se consideraron los *traits* o rasgos tolerancia a la contaminación, grado de eutrofia, alimentación y microhábitat.

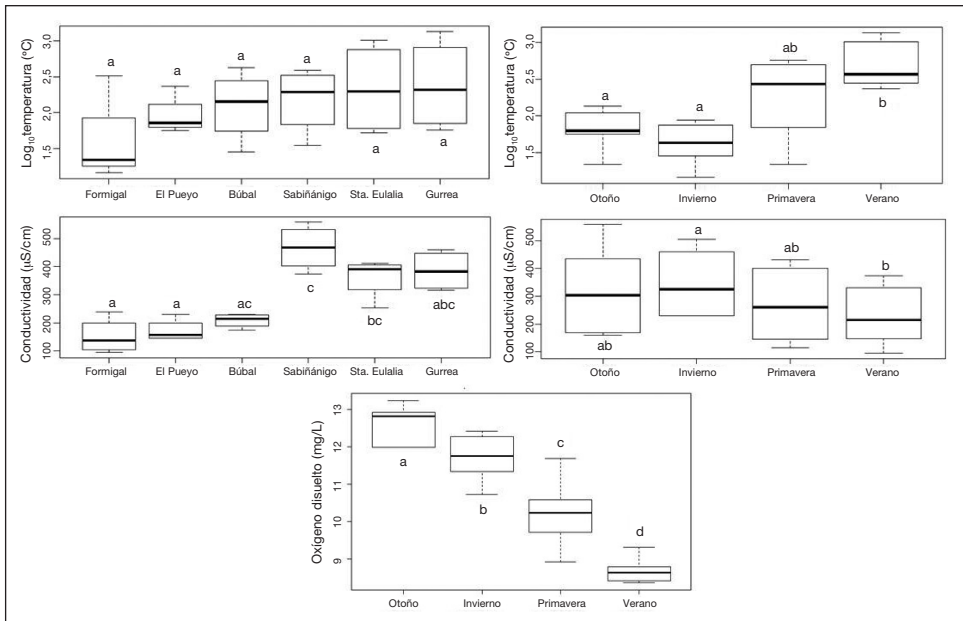
Para comenzar se determinó la afinidad de cada familia presente en la totalidad del muestreo con cada categoría perteneciente a cada uno de los rasgos (0 = ninguna; 1 = poca; 2 = buena;  $3 \geq 3$  = mucha afinidad). También se tuvo en cuenta la abundancia de cada familia en los distintos puntos de muestreo y estación. Se realizó un FCA o análisis de correspondencia difuso para cada rasgo biológico o *trait* analizado. Posteriormente, un análisis de componentes principales difuso donde se relacionan entre sí los *traits* y las familias, seguido de un análisis de componentes principales donde se ubican las familias y los puntos de muestreo. Por último, se efectuó un análisis de coinerencia con el fin de relacionar los rasgos biológicos, las familias y los puntos de muestreo en conjunto y concluir la estructura de la comunidad de macroinvertebrados en el río Gállego.

Para realizar los análisis estadísticos se utilizó el programa R (versión R 2.12.2; R Development Core Team, Open Source). Los tests ANOVA se llevaron a cabo mediante el paquete R Commander (FOX, 2005) y, para el análisis multivariante, además se utilizó el paquete ad4 (THIOULOUSE y cols., 1997).

## RESULTADOS

### *Parámetros fisicoquímicos*

Una vez analizados los datos, únicamente mostraron diferencias significativas frente a los factores *estación* y *punto de muestreo* tres de las variables fisicoquímicas (fig. 3). La conductividad del río Gállego mostró diferencias significativas respecto a los puntos de muestreo ( $F = 49,27$ ; g. l. = 5;  $p = 8,85 \cdot 10^{-9}$ ) y a la estación ( $F = 11,4$ ; g. l. = 3;  $p = 3 \cdot 10^{-4}$ ).



**Fig. 3.** Diagrama de cajas de la conductividad y la temperatura (transformación a logaritmo en base 10) para los puntos de muestreo (izquierda) y las estaciones (derecha).

Abajo, diagrama de cajas para el oxígeno disuelto respecto a las estaciones.

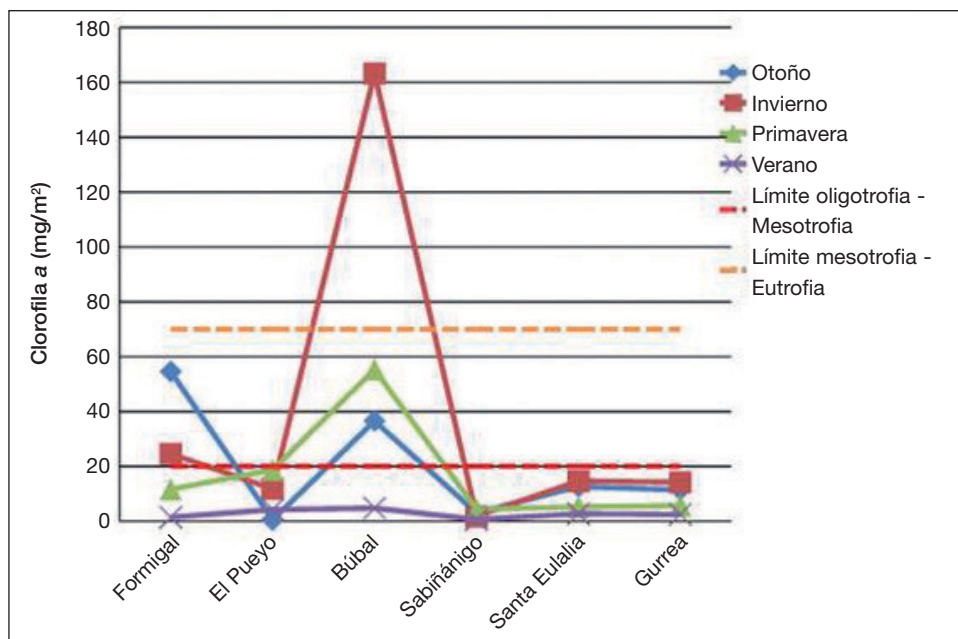
La comparación por pares mediante el test *t* para muestras relacionadas queda representada mediante letras en los gráficos.

Del mismo modo, la temperatura también mostró diferencias significativas respecto al punto de muestreo y respecto a la estación ( $F = 4,242$ ; g. l. = 5;  $p = 0,0133$  y  $F = 17,21$ ; g. l. = 3;  $p = 4,04 \cdot 10^{-5}$ , respectivamente). Por último, la concentración de oxígeno disuelto fue diferente en cada una de las estaciones del año ( $X^2 = 19,75$ ; g. l. = 3;  $p = 0,0002$ ), la más alta en invierno y la menor en verano.

### *Estado trófico*

Los valores de concentración de clorofila bentónica se han comparado con los valores de referencia de estado trófico propuestos por DODDS y cols. (1998). Como puede observarse en la figura 4, en casi todos los tramos estudiados se obtienen concentraciones de clorofila *a* propias de un río oligotrófico, por debajo de 20 mg/m<sup>2</sup>. Sin embargo, el tramo de Búbal adquirió





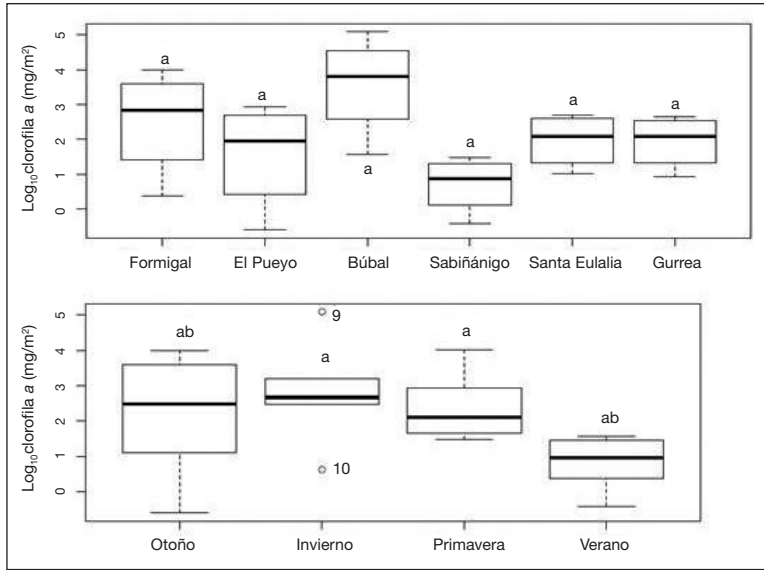
**Fig. 4.** Representación de los valores de clorofila *a* (mg/m<sup>2</sup>) en cada punto de muestreo en las distintas estaciones del año, con los límites de oligotrofia, mesotrofia y eutrofia según DODDS y cols. (1998).

concentraciones de clorofila propias de un tramo mesotrófico en las estaciones de otoño y primavera, y eutrófico en invierno. También en el punto de Formigal obtuvo valores propios de un sistema mesotrófico en otoño e invierno.

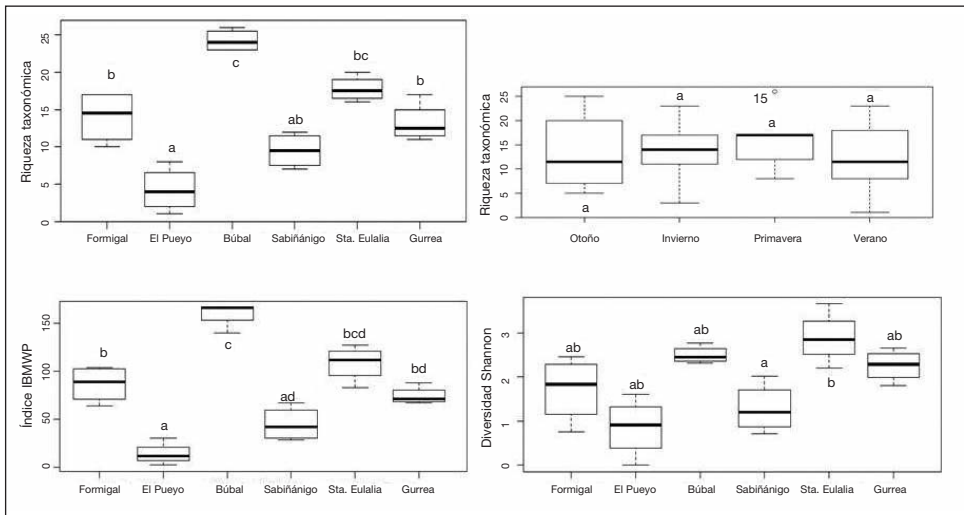
En cuanto a su variación espacial y temporal, la concentración de clorofila *a* presentó diferencias significativas respecto a ambos factores, *estación* ( $F = 4,762$ ; g. l. = 3;  $p = 0,0159$ ) y *punto de muestreo* ( $F = 4$ ; g. l. = 5;  $p = 0,0166$ ) (fig. 5).

#### *Índices biológicos: IBMWP, diversidad y riqueza taxonómica*

El índice IBMWP mostró diferencias claras y significativas ( $F = 54,13$ ; g. l. = 5;  $p = 4,57 \cdot 10^{-9}$ ) entre los diferentes puntos de muestreo (fig. 6), donde destaca Búbal por su muy buena calidad ecológica, seguido por los puntos de Santa Eulalia y Formigal. En Gurrea se obtuvo un agua con buena calidad, mientras que en Sabiñánigo alcanzó la clasificación de aceptable



**Fig. 5.** Diagrama de cajas de la clorofila *a* (transformación a logaritmo en base 10) para los puntos de muestreo y las estaciones del año. La comparación por pares mediante el test *t* para muestras relacionadas queda representada mediante letras en el gráfico.

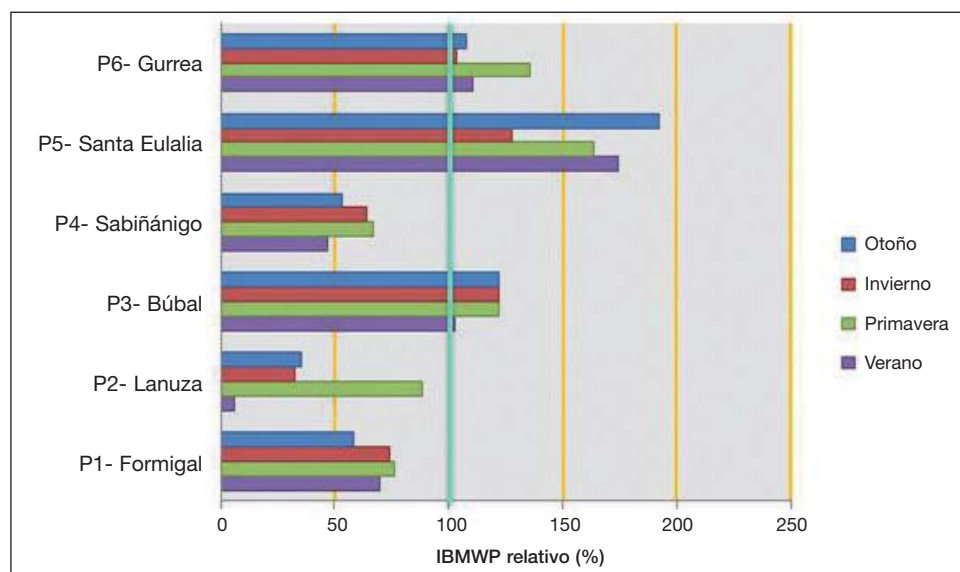


**Fig. 6.** Diagrama de cajas del índice IBMWP y la diversidad para el factor *punto de muestreo* (arriba) y de la riqueza taxonómica para los factores *punto de muestreo* y *estación del año* (abajo). La comparación por pares mediante el test *t* para muestras relacionadas queda representada mediante letras en el gráfico.

únicamente. Se observó un descenso importante en el índice en el punto de El Pueyo, que se mantuvo constante en todas las estaciones del año y permitió clasificarlo como un tramo con calidad de aguas deficiente. La diversidad siguió una distribución similar a la del índice IBMWP atendiendo al factor *punto de muestreo* ( $F = 8,507$ ; g. l. = 5;  $p = 5,49 \cdot 10^{-4}$ ). Cabe destacar el valor extremo perteneciente a El Pueyo en la estación de verano, donde solo se encontró un individuo, que pertenecía al taxón *Chironomidae*. La riqueza taxonómica mostró diferencias significativas respecto a los dos factores *estación* ( $F = 3,806$ ; g. l. = 3;  $p = 0,0328$ ) y *punto de muestreo* ( $F = 42,06$ ; g. l. = 5;  $p = 2,66 \cdot 10^{-8}$ ). El patrón de riqueza según los puntos de muestreo fue muy similar al observado para el índice IBMWP.

### Índice IBMWP según ecotipos

Se relacionó el valor IBMWP obtenido para cada punto de muestreo con el valor máximo de la categoría que le correspondería según el ecotipo que caracteriza al tramo, de manera que se obtuvo el IBMWP relativo. Se observaron claras diferencias entre los puntos de muestreo (fig. 7): destacaron



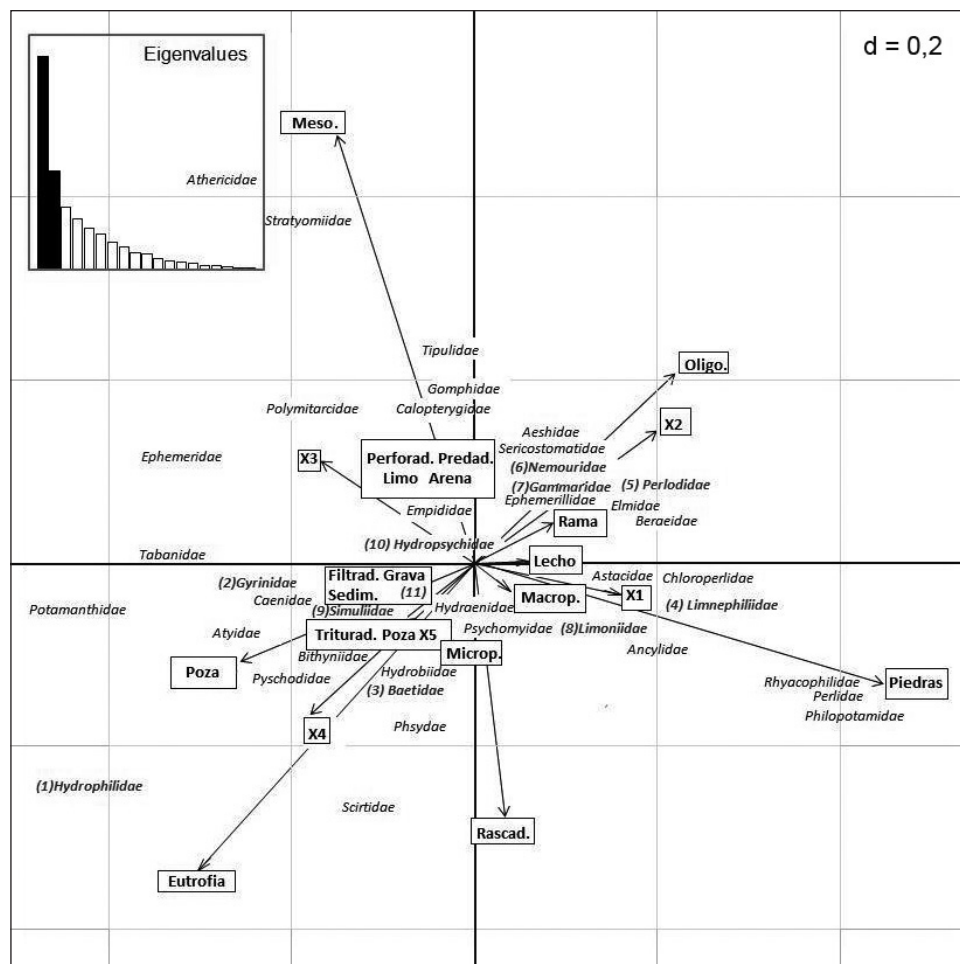
**Fig. 7.** Índice IBMWP relativo por punto de muestreo según el ecotipo del tramo del río Gállego donde se ubican. La línea azul marca el valor del 100%.

Formigal y El Pueyo que no llegaron al 100% para su categoría. Este último no alcanzó ni tan siquiera el 50% (excepto en primavera). Por otra parte, Santa Eulalia, Búbal y Gurrea consiguieron el 100% de calidad en su categoría.

### *Estructura de la comunidad de macroinvertebrados*

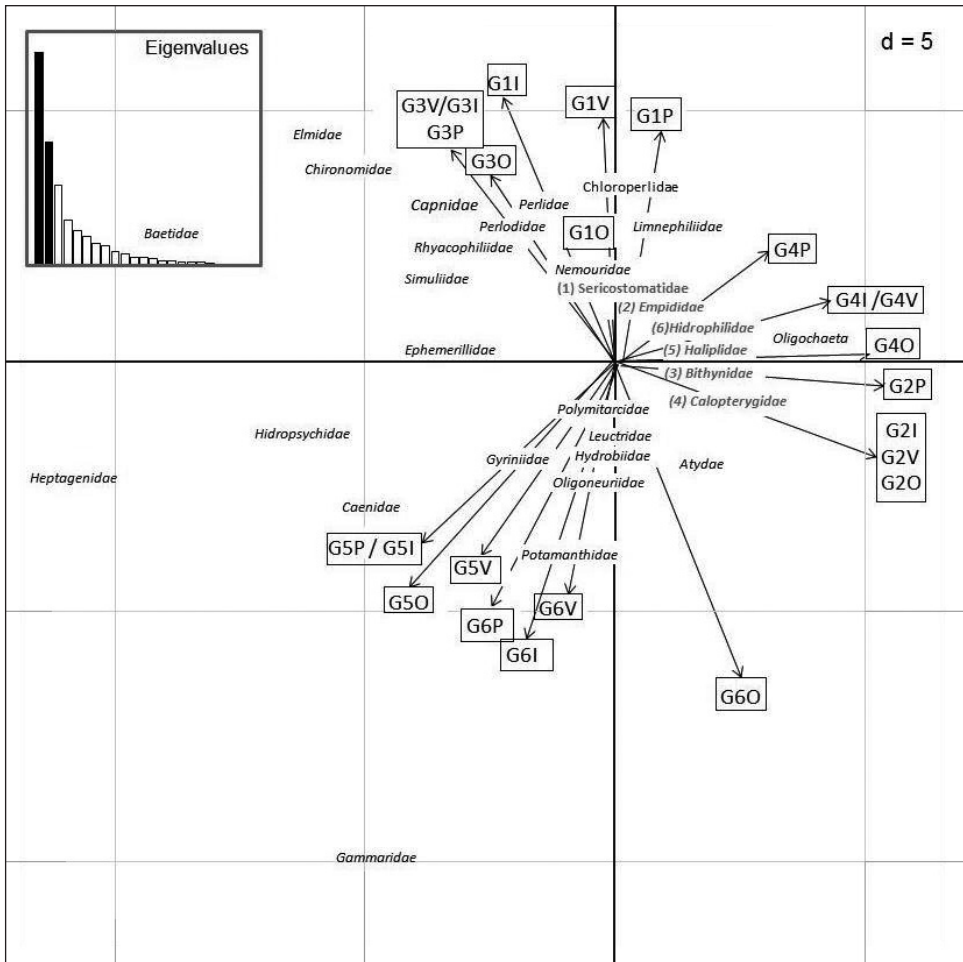
Para el estudio de la estructura funcional de la comunidad de macroinvertebrados se realizó, en primer lugar, un análisis de correspondencia *fuzzy* o difuso (FCA) en el que se tuvieron en cuenta cuatro de sus rasgos biológicos más relevantes para este estudio: estrategia trófica, tolerancia a la contaminación, microhábitat y grado de eutrofia. En el FCA obtenido (fig. 8) a partir de la clasificación de rasgos biológicos de cada una de las familias encontradas, los dos primeros ejes representan un 31,77% de la varianza.

El primer eje (17,04%) muestra un gradiente que va desde la tolerancia de los organismos a la eutrofia (valores negativos) al requerimiento de la oligotrofia (en valores positivos). Las familias del orden *Plecoptera* y, prácticamente, todos los *Trichoptera* (excepto *Hydropsychidae*) se encuentran próximos a las condiciones de oligotrofia, mientras que órdenes como *Coleoptera*, *Basommatophora* y algunos *Ephemeroptera* se agrupan en torno a la mesotrofia y eutrofia. Destaca como muy afín a la eutrofia el orden *Oligochaeta*. En este eje se muestra también el microhábitat de las familias: se sitúan en el eje con valores negativos zonas de pozas con familias como *Potamanthidae*, mientras que en el extremo positivo se encuentran microhábitats con piedras (destacan aquí las familias *Perlidae*, *Philopotamidae* y *Rhyacophilidae*), seguido de ramas, lecho y macrófitos (fundamentalmente con familias de *Trichoptera* y *Plecoptera*). La tolerancia media-alta a la contaminación viene marcada en el extremo negativo del eje, en el que se agrupan familias de los órdenes *Ephemeroptera*, *Coleoptera* y *Basommatophora*, mientras que la intolerancia se encuentra en valores positivos del eje con *Trichoptera* (familias *Glossosomatidae* y *Limnephilidae*). El segundo eje (14,73%) permite observar la estrategia trófica de las familias, distinguiéndose con valores positivos del eje los predadores y perforadores como *Odonata* (*Gomphidae*, *Caleopterygidae*) y *Diptera* (*Tipuliidae*). Los rascadores se sitúan en el extremo negativo, como los *Coleoptera* (*Scirtidae*).



**Fig. 8.** Análisis de correspondencia difuso (FCA) teniendo en cuenta las familias encontradas durante el estudio y los rasgos biológicos considerados (tolerancia a la contaminación, grado de eutrofia, alimentación y microhábitat). Se ha modificado la gráfica para facilitar la lectura; los números indican superposición de familias:

- (1) *Oligochaeta*; (2) *Haliplidae*; (3) *Chironomidae*; (4) *Glossosomatidae*;
- (5) *Leuctridae*; (6) *Leptophlebiidae*, *Capniidae*; (7) *Oligoneuriidae*; (8) *Rhagionidae*;
- (9) *Polycentropodidae*, *Planorbidae*; (10) *Lymnaeidae*; (11) *Ceratopogonidae*, *Hydroptilidae*, *Heptageniidae*, *Leptoceridae*. Valores propios (eje 1 = 0,1839; eje 2 = 0,1589).

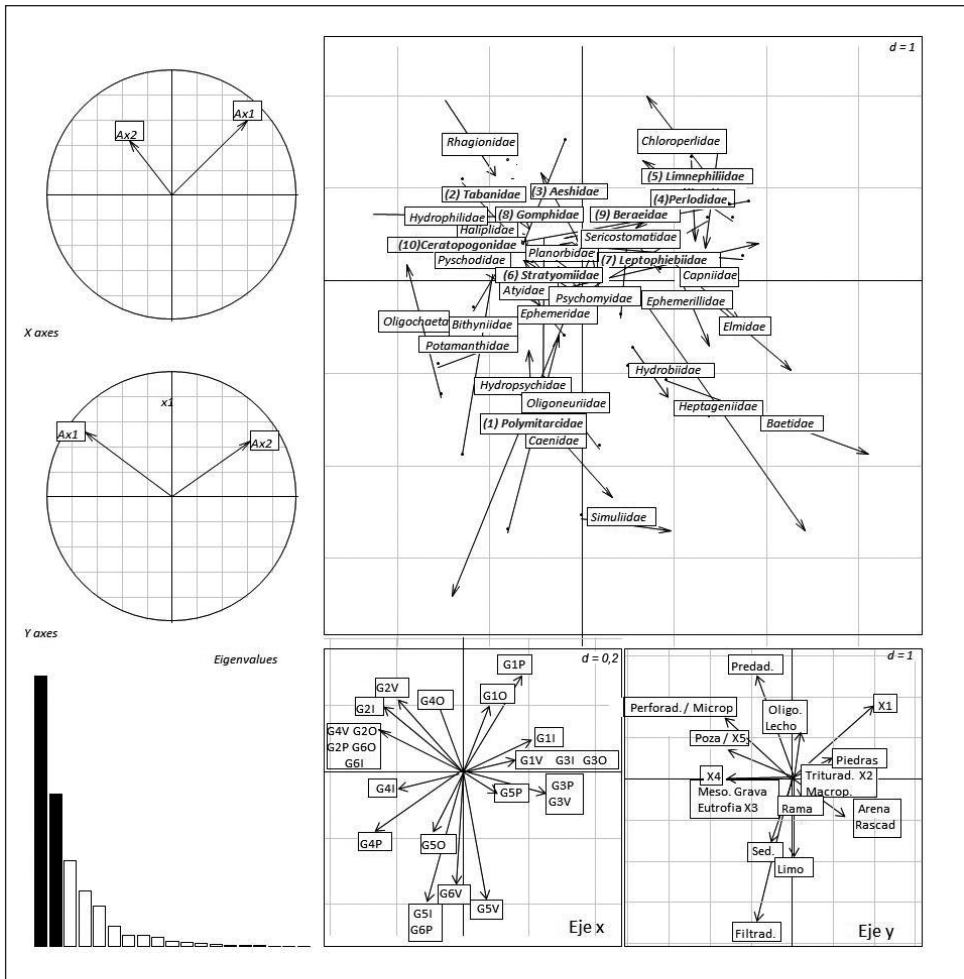


**Fig. 9.** Análisis de componentes principales (PCA) de la abundancia de familias en relación con los puntos de muestreo y las estaciones del año. Se ha modificado la gráfica para facilitar la lectura; las familias que se encuentran dentro de un mismo cuadro estaban superpuestas: (1) *Leptophlebiidae*; (2) *Scirtidae*; (3) *Tipuliidae*, *Tabaniidae*, *Stratyomidae*, *Hydraenidae*, *Beraeidae*, *Rhagionidae*, *Hydroptilidae*; (4) *Polycentropodidae*, *Physidae*, *Gomphidae*, *Ceratopogonidae*, *Asticidae*, *Athericidae*; (5) *Pyschodidae*, *Psychomyiidae*, *Ephemeridae*; (6) *Leptoceridae*, *Philopotamidae*, *Limoniidae*, *Lymnaeidae*, *Planorbiidae*, *Glossosomatidae*. Valores propios (eje 1 = 8,017; eje 2 = 4,661).

Se utilizó un análisis de componentes principales (PCA) para relacionar la abundancia de los individuos de las diferentes familias con los puntos de muestreo y las estaciones del año (fig. 9). Los dos primeros ejes del análisis explican un 52,83% de la varianza. El primer eje (33,41%) en sus valores positivos comprende los puntos de Sabiñánigo (G4) y El Pueyo (G2), con familias indicadoras de malas condiciones y una marcada abundancia de *Oligochaeta*. En el otro extremo, con valores negativos, se muestran los puntos con familias indicadoras de buenas condiciones, Santa Eulalia (G5) y Búbal (G3), con gran presencia de *Heptageniidae*, *Hydropsychiidae*, *Elmidae* y *Baetidae*. En situación intermedia, con valores neutros, aparecen Formigal (G1) y Gurrea (G6). En esta situación también se hallan las familias menos abundantes.

El segundo eje (19,42%) permite observar en su extremo positivo los puntos de Formigal (G1) y Búbal (G3), con abundancia de *Chironomidae*, *Elmidae* y *Perlidae*. Las familias *Gammaridae* y *Potamanthidae* abundan en el punto de Gurrea (G6) especialmente en otoño, como marcan los valores negativos del eje 2. Se observa una distribución de los puntos de muestreo en este eje desde la cabecera (valores positivos) hasta los tramos bajos del curso (Gurrea, valores negativos), con la excepción de que el punto de El Pueyo se encuentra descolocado por debajo de Sabiñánigo.

Por último, se llevó a cabo un análisis de coinerencia (fig. 10), donde se representan en conjunto las familias presentes, su distribución en los puntos de muestreo y estaciones, además de los rasgos biológicos. La varianza explicada por los dos primeros ejes fue del 63,11%. En el extremo positivo del eje 1 (40,42%) están los puntos de Búbal y Formigal (en invierno y verano), caracterizados por contar con familias como *Elmidae*, *Baetidae* y *Heptageniidae* en su mayoría, y familias poco tolerantes a la contaminación con estrategia rascadora. En el otro extremo, con valores negativos, los puntos de Sabiñánigo y El Pueyo, con familias tolerantes a la contaminación como *Oligochaeta* y *Cerapogotonidae*. En el eje 2 (22,70%), destacan en el extremo negativo los puntos de Gurrea en primavera y verano y Santa Eulalia en verano e invierno, con abundancia de familias *Gammaridae*, *Caenidae* y *Simuliidae*. Además, familias predominantemente filtradoras. Con valores positivos en el eje 2, las familias con estrategia predadora, como los *Aeshidae*.



**Fig. 10.** Análisis de coinerencia que muestra la estructura de la distribución de las familias de macroinvertebrados y sus rasgos biológicos (tolerancia a la contaminación, grado de eutrofia, estrategia trófica y microhábitat) en el río Gállego. Se ha modificado la gráfica para facilitar la lectura, de modo que en los ejes y (FCA) y x (PCA) los puntos de muestreo y rasgos biológicos que se encuentran dentro del mismo recuadro se encuentran superpuestos. En la gráfica donde se representan las familias, los números corresponden a las que se encontraban superpuestas: (1) *Gammaridae*; (2) *Polycentropodidae*, *Hydroptilidae*, *Calopterygidae*; (3) *Empididae*, *Limoniidae*; (4) *Nemouridae*; (5) *Perlidae*, *Rhyacophilidae*; (6) *Phsydae*, *Lymnaeidae*, *Gyrinidae*; (7) *Scirtidae*, *Leuctridae*, *Chironomidae*, *Philopotamidae*; (8) *Tipulidae*, *Astacidae*, *Hydraenidae*; (9) *Glossosomatidae*; (10) *Athericidae*, *Ancylidae*, *Leptoceridae*. Valores propios (eje 1 = 0,194; eje 2 = 0,109).



## DISCUSIÓN

### *Parámetros fisicoquímicos*

Los parámetros fisicoquímicos determinados en el río Gállego, lejos de seguir un patrón natural, mostraron alteraciones relacionadas con los diversos impactos que se producen a lo largo de su cauce.

Respecto a la temperatura, en El Pueyo es donde se produjo el mayor incremento de todo el tramo estudiado, lo que podría deberse al entorno de dicho punto de muestreo. El Pueyo está rodeado de pastos, lo que genera que la luz incida directamente y aumente así la temperatura del agua (SPONSELLER y cols., 2001). No hay que obviar el efecto potencial en este parámetro de la tubería que vierte a poca distancia del punto de muestreo de El Pueyo (fig. 11). A partir de este punto, el incremento de temperatura río abajo se produce de forma más progresiva, incluso llega a descender en Búbal durante el invierno. Búbal se encuentra en un congosto rodeado de vegetación donde son pocas las horas de luz que recibe. También se da un descenso de temperatura en verano en Sabiñánigo, coincidiendo con una coloración marrón grisácea del agua y un olor característico de aguas residuales (fig. 12). Esto podría deberse al *bypass* de la depuradora situada aguas arriba, a algún vertido no registrado o al desembalse de las aguas



**Figs. 11 y 12.** A la izquierda, detalle de la tubería al descubierto en El Pueyo durante el muestreo de invierno. Se observó un desarrollo excesivo de algas en torno a su ubicación, así como espumas procedentes del vertido. A la derecha, detalle del color marrón grisáceo del punto de Sabiñánigo en verano.

del fondo del embalse de Sabiñánigo, ya que en verano el agua del fondo del embalse está a menor temperatura, lo que conlleva un impacto en los hábitats de aguas abajo (ELOSEGI y SABATER, 2009).

La conductividad de un río viene marcada por diversos factores, al recorrer a lo largo de su cauce diferentes materiales geológicos que le aportarán diferentes sales a su composición. Asimismo, recogerá sales procedentes de la actividad humana. En el presente artículo, la conductividad varió a lo largo del año y del cauce: destaca un incremento de la misma en Sabiñánigo respecto a los demás puntos muestreados, que puede deberse a la influencia directa tanto de la población y sus industrias como de la depuradora situada aguas arriba. En cuanto a la evolución temporal, durante el invierno la conductividad fue mayor, y durante la primavera y el verano menor, por efecto de la dilución producida por el incremento de caudal en estas estaciones, sobre todo en verano.

Directamente relacionado con la temperatura, la altitud, los procesos de producción primaria, la descomposición de la materia orgánica y la densidad de vegetación acuática se encuentra el oxígeno disuelto en agua (ORTIZ, 2002). En el río Gállego, este parámetro siguió una evolución temporal claramente relacionada con el ciclo anual y la temperatura: la concentración de oxígeno fue máxima en otoño y mínima en verano. Además, puntualmente, se ha observado que este parámetro experimentó un notable descenso en primavera desde El Pueyo hasta Santa Eulalia coincidiendo con un pH alto respecto al resto del año. El oxígeno disuelto disminuye, al darse un exceso de materia orgánica que puede estar ligado principalmente a vertidos procedentes de núcleos urbanos, aguas de actividades ganaderas o industriales sin el tratamiento de depuración adecuada (ALONSO y CAMARGO, 2005), o bien a la acumulación de biomasa en los embalses situados aguas arriba. A su vez el pH de un río refleja el tipo de sustrato geológico y la actividad biológica, aumentando cuando la tasa fotosintética y la producción primaria son altas y disminuyendo en condiciones de intensa descomposición (ELOSEGI y SABATER, 2009). Ambos parámetros en conjunto indican que entre El Pueyo y Santa Eulalia, durante la primavera (estación de notable afluencia de población en la cabecera del Gállego debido a la estación de esquí de Formigal y el turismo rural), se produjo un incremento de la eutrofización que repercutió aguas abajo.

### *Estado trófico*

Los valores de clorofila *a* en el perifiton registrados a lo largo del año permiten clasificar al río Gállego entre oligotrófico y mesotrófico. La altitud, la temperatura, la velocidad del flujo, la vegetación riparia, el sustrato y la luz son algunos de los factores más importantes que influyen en este parámetro (YOUNG y cols., 2008). Sin embargo, son la materia orgánica y los nutrientes los que estimulan en mayor grado el crecimiento y desarrollo del perifiton (LOHMAN y cols., 1992; WELCH y cols., 1992; VAN NIEWENHUYSE y JONES, 1996; DODDS y cols., 1998). Según las condiciones de luz y temperatura, la primavera es la época más propicia para el desarrollo del perifiton (RIAÑO y cols., 1993) hecho que no se pudo observar en el río Gállego, ya que es durante el invierno cuando los valores fueron más altos. Puede asociarse la alta concentración de clorofila detectada, en el punto de Búbal, a un elevado grado de eutrofización. Los vertidos de aguas residuales de las poblaciones recogidos desde la cabecera, las infiltraciones de los pastos donde se practica la ganadería, la alta densidad de vegetación de las orillas, la materia orgánica en descomposición proveniente de la vegetación y el material acumulado arrastrado por anteriores crecidas o desembalse de las aguas del fondo del embalse de Búbal son las diversas causas posibles de este resultado. Mientras la concentración de clorofila permaneció casi constante a lo largo del año en todos los puntos de muestreo, Formigal experimentó variaciones en el tiempo, dándose los máximos en otoño e invierno, cuando hay una gran afluencia de público en el Portalet y en la estación de esquí de Formigal, y coincidiendo con un incremento del vertido de aguas residuales en estas zonas.

### *Evolución de los índices biológicos a lo largo del año*

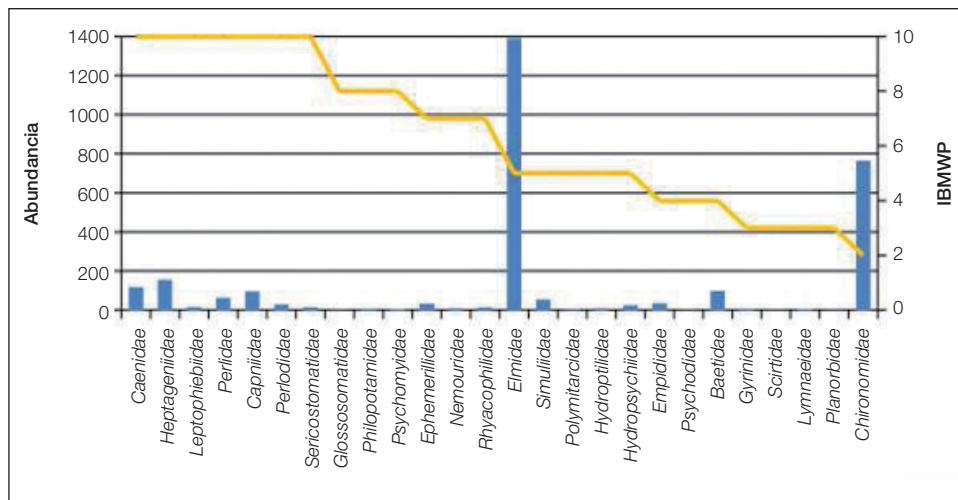
Los índices biológicos estudiados (IBMWP, riqueza taxonómica y diversidad) siguen un patrón similar a lo largo del curso del río, donde se alternan puntos con muy buena calidad de agua con calidad de aguas deficiente. No se dio prácticamente variabilidad estacional en el índice IBMWP y la diversidad. No ocurrió así con los puntos de muestreo, cuyas características se ven influidas por el entorno inmediato, ya sea por su peculiaridad natural, por las alteraciones hidromorfológicas del embalse situado aguas arriba o por otros impactos antrópicos. Pese a contar con un valor del índice IBMWP

que le otorga un estado de calidad de agua buena, Formigal se ve influido directamente por los vertidos de la estación de esquí y por las Ventas del Portalet, sobre todo en invierno, cuando destacó la alta presencia de *Chironomidae*, con más de 5800 individuos capturados. Esta familia es una clara indicadora de contaminación orgánica (ALONSO y CAMARGO, 2005). Su abundancia es alta durante todas las estaciones del año, lo que afecta directamente al valor de diversidad provocando su disminución, principalmente en invierno.

El Pueyo permaneció con un estado ecológico deficiente a lo largo de todo el año de estudio a pesar de estar en un tramo de alta montaña. Se trata de un claro ejemplo de la transformación del río como sistema lótico a léntico por el efecto de los embalses (SCHEIDEGGER y BAIN, 1995; DÍAZ-HERNÁNDEZ, 2005). Este punto en verano obtuvo un valor del índice IBMWP de 2: se halló en la muestra únicamente un individuo de *Chironomidae*. Ya sea por la cercanía del vertido directo de aguas residuales de la población de El Pueyo, por los vertidos realizados aguas arriba, el efecto del embalse de Lanuza o la central hidroeléctrica cercana, este punto de muestro se encuentra en un estado ecológico crítico. Este hecho se agrava si se considera que se sitúa en un tramo de alta montaña, cercano a la cabecera del río, por lo que debería caracterizarse por un estado ecológico poco alterado.

Búbal presentó una muy buena calidad ecológica a lo largo del año, con el valor más alto de riqueza de todos los puntos de muestreo y una alta diversidad. Sin embargo, el predominio de familias como *Chironomidae* y *Elmidae* (fig. 13), con altas abundancias, indica una gran presencia de materia orgánica (ALONSO y CAMARGO, 2005), lo que coincide con lo observado a partir de los parámetros fisicoquímicos y el estado trófico medidos en este punto. Se remarca, por tanto, el hecho de que en este tramo existe un elevado grado de eutrofización ya sea por vertidos acumulados, por efecto de los embalses o por acumulación de materia orgánica procedente de la vegetación de ribera arrastrada durante las avenidas.

Sabiñánigo obtuvo una clasificación del índice IBMWP de agua de calidad moderada. No obstante, tanto la riqueza como la diversidad presentaron valores bajos. Además, la abundancia de individuos de las pocas familias presentes fue muy baja. Las depuradoras, generalmente, modifican la calidad biológica del agua tras sus vertidos (PERRÉ, 2010), especialmente si no ha



**Fig. 13.** Abundancia (número de individuos) de las familias del punto de Búbal en primavera y valor en orden decreciente del índice IBMWP de cada una de ellas (valor del índice IBMWP en Búbal durante la primavera = 166; calidad de agua muy buena).

dado tiempo a su dilución (PRAT y MUNNÉ, 2000; PERRÉ, 2010). Es por ello por lo que la situación espacial concreta de este punto de muestreo podría afectar a su estado ecológico directamente por la cercanía de la EDAR de Sabiñánigo. Sería necesario realizar un muestreo aguas arriba de la depuradora para poder saberlo con exactitud. En la estación de verano, la presencia de más de 1400 individuos de *Oligochaeta* y de más de 160 *Chironomidae*, en relación con una abundancia mucho menor del resto de las familias, indica algún tipo de contaminación orgánica (ALONSO y CAMARGO, 2005). A esto se le suma el estado del río que el día del muestreo tenía olor característico y color marrón grisáceo y un descenso de la temperatura. Esta situación pudo ser debida a la sobrecarga de la EDAR durante la época de más afluencia turística y consecuentemente al *bypass* de aguas con alto contenido orgánico.

Al analizar el índice de calidad ecológica IBMWP relativo respecto a los diferentes ecotipos de la cuenca del Gállego, se observó cómo puntos de muestreo que adquirirían categorías de agua buena o aceptable se alejan del valor de referencia IBMWP que debería caracterizarlos en función de su ecotipo. Son de destacar los malos resultados del punto de El Pueyo, que, situándose en tramos de alta montaña, debería poseer altos valores, así como

Sabiñánigo, en montaña húmeda. En el otro extremo los puntos de Búbal y, especialmente, Santa Eulalia alcanzan valores muy por encima de los máximos estimados para su categoría.

### *Estructura de la comunidad de macroinvertebrados*

El análisis de correspondencia difuso (FCA) determinó cómo la presencia de determinadas familias de macroinvertebrados es clara indicadora de la situación del medio. De este modo, la presencia de órdenes como *Plecoptera* y *Trichoptera* está ligada a aguas oligotróficas y poco contaminadas. Estos grupos han mostrado una alta sensibilidad a la contaminación y degradación de los ecosistemas acuáticos en España (GARCÍA y GONZÁLEZ, 1986; GARCÍA-CRIADO y cols., 1999; RIBERA y cols., 2002; SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ y cols., 2004; ALONSO y CAMARGO, 2005). En aguas eutróficas, con elevada contaminación, predominan *Oligochaeta*, algunos *Ephemeroptera* y *Basammatophora*, entre otros.

El análisis de componentes principales (PCA) permitió observar cómo se distribuyeron las familias de macroinvertebrados en los puntos de muestreo del río Gállego. Pueden distinguirse claramente tres agrupaciones de los puntos de muestreo para todas las estaciones del año. En primer lugar, Formigal y Búbal; en segundo lugar, El Pueyo y Sabiñánigo, y por último, Santa Eulalia y Gurrea. Estas agrupaciones se distribuyen en el segundo eje del análisis siguiendo el patrón longitudinal del río, con la excepción de El Pueyo, que ocupa un lugar por debajo de Sabiñánigo. Esto coincide con el resto de los resultados observados, corroborando la mala situación de este punto de alta montaña, que, sin embargo, guarda más similitud con tramos medios y bajos del río. En el primer eje del análisis, El Pueyo y Sabiñánigo se agrupan en la zona donde encontramos los taxones que indican menor calidad ecológica, mientras el resto de puntos se distribuyen en la zona de más calidad, siendo los puntos mejor situados Búbal y Santa Eulalia.

Si bien se dieron una presencia relativamente abundante de los taxones ETP (*Ephemeroptera*, *Trichoptera*, *Plecoptera*), especialmente *Hep- tageniidae*, indicadores de buena calidad, en Formigal y Búbal predominaron *Baetidae*, *Elmidae* y *Chironomidae*, durante todas las estaciones del año. Los *Chironomidae* son una familia generalista y con variedad de

formas de alimentación dentro de sus especies (MERRITT y CUMMINS, 1978; HACHMOLLER y cols., 1991; RIAÑO y cols., 1993). Los *Baetidae* poseen ciclos de vida cortos y es común que acompañen a *Chironomidae* en fases de recolonización tras una perturbación (ROBINSON y cols., 2004; MARTÍNEZ y cols., 2006). Por otro lado, la familia *Elmidae* con un carácter bastante generalista tanto en requerimientos tróficos como ambientales (ÁLVAREZ, 2009), aumenta con el desarrollo de la producción primaria detectada en ambos puntos de muestreo, al utilizar directamente las algas como alimento (ELOSEGI y POZO, 1992; CUMMINS, 1973; RIAÑO y cols., 1993). Siendo superior la abundancia de estas familias respecto a las indicadoras de buena calidad, se observa un desplazamiento de las especies más sensibles por otras de carácter generalista en los tramos altos. Esto es habitual aguas abajo de un embalse (AGIRRE y GARCÍA DE BIKUÑA, 2000) o tras una perturbación del estado natural de un río.

Son destacables los puntos de Sabiñánigo y El Pueyo por contar con muy poca abundancia de individuos de cada familia, predominando el orden *Oligochaeta*. Los puntos de muestreo situados en el tramo medio-bajo del río (Santa Eulalia y Gurrea) se caracterizaron por la alta abundancia de *Heptageniidae*, familia indicadora de buena calidad del agua, acompañado de *Gammaridae* especialmente en Gurrea. Este hecho muestra la capacidad de recuperación del río en diversos puntos, primero en Búbal, tras la mala calidad detectada en El Pueyo y, posteriormente, en Santa Eulalia, bajo el punto de Sabiñánigo y la presa de la Peña.

En general, el PCA mostró cómo en el curso alto y medio del río Gállego existe un desequilibrio en la estructura de la comunidad (familias presentes y el número de individuos de cada una). Se dio una dominancia de especies generalistas (*Elmidae*, *Chironomidae*) sobre las pertenecientes a las órdenes indicadoras de muy buena calidad (*Trichoptera*, *Plecoptera*). Teniendo en cuenta la situación de los puntos de El Pueyo y Sabiñánigo se recalca la existencia de alteraciones provocadas por la acción antrópica marcada por la predominancia de taxones tolerantes a la contaminación (RODRÍGUEZ y cols., 1994; WOOD y cols., 2000; MORAIS y cols., 2004; MARTÍNEZ y cols., 2006).

Por último, mediante el análisis de coinercia se pudo analizar la estructura funcional de la comunidad de macroinvertebrados del río Gállego en conjunto, incluyendo sus rasgos biológicos y la composición de la comunidad.

La zona de cabecera debería estar dominada por un alto número de detritívoros y trituradores (MONZÓN y cols., 1991). En la cabecera del río Gállego (considerando Formigal y Búbal) predominó la estrategia trófica rascadora y trituradora a lo largo del año, con familias con afinidades por aguas oligotróficas y poca tolerancia a la contaminación. Estos tramos se caracterizaron por una alta riqueza taxonómica y alto índice IBMWP relacionado con la presencia de un elevado número de familias indicadoras de buena calidad de las aguas (como familias del orden *Trichoptera* y *Plecoptera*). Sin embargo, hay una gran abundancia de las familias *Baetidae* y *Elmidae*. Teniendo en cuenta lo analizado en el estado trófico de puntos, Búbal posee un nivel de clorofila que le confiere carácter altamente eutrófico. Por tanto, la abundancia de dichas familias puede explicarse por la gran cantidad de alimento disponible (alta densidad de algas verdes filamentosas y diatomeas), lo que crea una gran diversidad de nichos (MORAIS y cols., 2004; MARTÍNEZ y cols., 2006), que confiere esta estructura funcional al tramo. Probablemente, este exceso de nutrientes a lo largo del año, que provocó una eutrofización y excesivo desarrollo de algas, provino de la acumulación de vertidos desde las zonas de cabecera (Portalet, estación de esquí, vertidos de aguas residuales urbanas de poblaciones e industrias). Los embalses acrecentaron el efecto, generando un proceso de retroalimentación positiva de los vertidos acumulados, autoestimulando la eutrofización y produciendo un mayor aporte de nutrientes aguas abajo (MONTEOLIVA y MUÑOZ, 2000).

Los puntos de Sabiñánigo y El Pueyo están claramente alterados, al estar caracterizados por familias muy tolerantes a la contaminación y con preferencia por la eutrofia. Es importante el hecho de poseer muy bajas cantidades de todas las familias, destacando la predominancia de *Oligochaeta*. Este orden es un claro indicador de contaminación por materia orgánica (ALONSO y CAMARGO, 2005). Por tanto, podría determinarse que estos puntos están muy modificados antrópicamente. El Pueyo, a consecuencia de la central hidroeléctrica cercana, el embalse de Lanuza y los vertidos de las poblaciones. Sabiñánigo, por su parte, está afectado directamente por la depuradora situada aguas arriba, el embalse y los vertidos industriales y urbanos.

En la parte baja de los cursos medio y bajo del Gállego predominaron familias con estrategias tróficas de filtración y detritívoros, mayoritariamente del orden *Ephemeroptera*. Estas estrategias tróficas son características



de tramos bajos, ya que conforme el río discurre aguas abajo va recibiendo aportes de materia orgánica alóctona. Los organismos de tramos altos se encargan de fragmentarla y convertirla en materia orgánica particulada fina asimilable por los filtradores y detritívoros. Este tramo de río poseyó la estructura funcional de macroinvertebrados menos alterada del conjunto, característica de un curso fluvial poco influido por la acción antrópica.

## CONCLUSIONES

El uso de macroinvertebrados y del perifiton como bioindicadores en este estudio ha demostrado ser una herramienta muy útil que refleja alteraciones ocurridas en el río Gállego tiempo atrás. Esto se ha visto reflejado tanto a corto plazo, detectando perturbaciones puntuales en un punto de muestreo y estación concretos, como a medio y largo plazo, perturbaciones que se producen en el transcurso de un año, y también de carácter histórico. A la hora de aplicar el índice IBMWP e interpretar sus resultados, es necesario tener en cuenta las características del ecotipo donde se encuentra el punto de muestreo, pues los resultados pueden variar en función de las características biogeográficas. Así, se observa cómo tramos medios del río Gállego tienen una calidad ecológica del agua muy buena, muy superior a otras zonas de cabecera, que situándose en tramos de alta montaña deberían poseer mayor calidad ecológica.

La cadena de embalses situada en los tramos de alta montaña del río Gállego produce eutrofización aguas abajo, la cual se agrava debido a los aportes externos recogidos aguas arriba. Con ella, se genera un aumento de la diversidad dada la mayor disponibilidad de nutrientes presente para el desarrollo de los organismos. Por tanto, predominan taxones tanto de alto como de poco valor ecológico, siendo mucho más abundantes estos últimos. Los embalses modifican el régimen de caudales y las características naturales del sistema fluvial convirtiendo los sistemas lóticos en lénticos, como sucede en la cola del embalse de Búbal, tras la central hidroeléctrica de Lanuza. En este punto, se observó un estado deficiente en el transcurso de un año al propiciarse cambios en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, que tuvo que adaptarse a nuevas condiciones que le fueron impuestas.

El río en este tramo no posee un marco espacio-temporal suficiente como para recuperarse tras el embalsamiento en Lanuza.

Las altas presiones antrópicas propician alteraciones en la estructura funcional de las comunidades de macroinvertebrados. En el curso fluvial del Gállego, se da una clara dominancia de especies generalistas, rápidas colonizadoras tras los impactos, mientras que abundan menos las pertenecientes a los órdenes indicadores de muy buena calidad. El deterioro del ecosistema provocado por el vertido de aguas residuales se pone de manifiesto con mayor intensidad en el nacimiento del río Gállego. Si bien sería necesario realizar estudios complementarios, se puede considerar como el factor que sumado al efecto de las cadenas de embalses y las infraestructuras hidráulicas, crea mayores perjuicios a estos ambientes fluviales.

La ausencia de estos impactos da pie al desarrollo de una comunidad acorde con las características que rigen la dinámica de un ecosistema natural, como ocurre en el curso medio-bajo del Gállego. Aumentan considerablemente la diversidad y los taxones indicadores de buena calidad. Se pone de manifiesto en los tramos medios-bajos (Santa Eulalia) la capacidad de autodepuración de un ecosistema fluvial, que es capaz de recuperarse de los inmensos daños sufridos en los tramos situados aguas arriba. No ocurre así en estos últimos al no disponer de suficiente recorrido y tiempo entre impacto e impacto para restablecerse

Para terminar, es necesario resaltar que existe muy poca información relevante del río Gállego, además de estar referida en su mayoría a zonas concretas. De modo que sería interesante realizar estudios a escala de cuenca para comprobar la influencia que ejercen unos tramos sobre otros y disponer de información objetiva que permita la adecuada gestión de la cuenca.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por una Ayuda de Investigación del Instituto de Estudios Altoaragoneses en su convocatoria de 2012. La primera autora quiere agradecer la ayuda, paciencia y dedicación de los coautores, así como a los familiares y amigos que han participado directa e indirectamente en este estudio, y a Jon.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGIRRE, A., y B. GARCÍA DE BIKUÑA (2000). Conceptos básicos para la aplicación del caudal ecológico en los ríos ibéricos. *Segundo Congreso Ibérico sobre Planificación y Gestión de Aguas “Una cita europea con la nueva cultura del agua: la directiva marco. Perspectivas en Portugal y España” (Oporto, noviembre de 2000)*: 105-116. IFC / Universidad de Zaragoza. Zaragoza.
- ALBA-TERCEDOR, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. En *IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA)*. Almería, vol. 2: 203-213. Instituto Técnico Geo-Minero de España. Madrid.
- ALBA-TERCEDOR, J., P. JÁIMEZ-CUÉLLAR, M. ÁLVAREZ, J. AVILÉS, N. CAPARRÓS, J. CASAS y C. ZAMORA-MUÑOZ (2002). Caracterización del estado ecológico de ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP'). *Limnetica*, 21 (3-4): 175-185.
- ALONSO, Á., y J. A. CAMARGO (2005). Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles. *Ecosistemas*, 14 (3): 87-99.
- ÁLVAREZ-CABRIA, M. (2009). *Estudio de la variabilidad espacio-temporal de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en los ecosistemas fluviales de Cantabria. Repercusiones para la aplicación de la Directiva Marco del Agua* (tesis doctoral, Universidad de Cantabria, Santander).
- BATALLA, R. J., C. M. GÓMEZ y G. M. KONDOLF (2004). Reservoir –induced hydrological changes in the Ebro River basin (NE Spain). *Journal of Hydrology*, 290 (1): 117-136.
- BUNN, S. E., y A. H. ARTHINGTON (2002). Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management*, 30 (4): 492-507.
- CEDEX, (2005). *Caracterización de los tipos de ríos y lagos*. Versión 3.0. Centro de Estudios Hidrográficos. Ministerio de Fomento. Madrid.
- CHE (2009). *Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro*. Ed. M. J. de la Fuente Álvaro. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- CUMMINS, K. W. (1973). Trophic relations of aquatic insects. *Annual Review of Entomology*, 18 (1): 183-206.
- DÍAZ-HERNÁNDEZ, J. M. (2005). Bases metodológicas para el establecimiento de caudales ecológicos en el ordenamiento de cuencas hidrográficas. *Ingeniería y Competitividad*, 7 (2): 11-18.
- DODDS, W. K., J. R. JONES y E. B. WELCH (1998). Suggested classification of stream trophic state: distributions of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus. *Water Research*, 3: 1455-1462.
- ELOSEGI, A., y J. POZO (1992). Physico-chemical characteristics of the Agüera River (Spain) during an unusual hydrologically period. *Annals of Limnology*, 28: 85-96.

- ELOSEGI, A., y S. SABATER (2009). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Fundación BBVA. Bilbao. 444 pp.
- FERNÁNDEZ, J., M. A. ARJOL y C. CACHO (2013). POP-contaminated sites from HCH production in Sabiñánigo, Spain. *Environmental science and pollution research international*, 20 (4): 1937-1950.
- FOX, J. (2005). The R Commander: A Basic-Statistics Graphical User Interface to R. *Journal of Statistical Software*, 14 (9): 1-42.
- GARCÍA, M. A., y M. C. MORENO (2000). *Los aprovechamientos en la cuenca del Ebro: afección en el régimen hidrológico fluvial (No. 2000-PH-24-I)*. Internal Technical Report.
- GARCÍA-CRIADO, F. (1999). *Impacto de la minería del carbón sobre Hydraenidae y Elmidae (Coleoptera) en la cuenca del río Sil (León, España)*. (Doctoral dissertation, Ph. D. Thesis. Universidad de León).
- GARCÍA DE JALÓN, D., y M. GONZÁLEZ DEL TÁNAGO (1986). *Métodos biológicos para el estudio de la calidad de las aguas. Aplicación a la cuenca del Duero*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (Monografías, 45). Madrid.
- GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M., y D. GARCÍA DE JALÓN (2007). *Restauración de ríos. Guía metodológica para la elaboración de proyectos*: 83-104. Centro de publicaciones. Secretaría General Técnica. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- HACHMOLLER, B., R. A. MATTHEWS y D. F. BRAKKE (1991). Effects of riparian community structure, sediment size, and water quality on the macroinvertebrate communities in a small, suburban stream. *Northwest Science*, 65 (3): 125-132.
- KONDOLF, G. M. (1997). PROFILE: hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels. *Environmental Management*, 21 (4): 533-551.
- JEFFREY, S. W., y G. F. HUMPHREY (1975). New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen*, 167: 191-194.
- LIGON, F. K., W. E. DIETRICH y W. J. TRUSH (1995). Downstream ecological effects of dams. *BioScience*, 45 (3): 183-192.
- LOHMAN, K., J. R. JONES y B. D. PERKINS (1992). Effects of nutrient enrichment and flood frequency on periphyton biomass in northern Ozark streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49 (6): 1198-1205.
- MARGALEF, R. (1983). *Limnología*. Omega. Barcelona.
- MARTÍNEZ BASTIDA, J. J., M. ARAUZO y M.<sup>a</sup> VALLADOLID (2006). Diagnóstico de la calidad ambiental del río Oja (La Rioja, España) mediante el análisis de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos. *Limnetica*, 25 (3): 733-744.
- MERRITT, R. W., y K. W. CUMMINS (1978). *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Hunt Pub. Co. Kendall. Dubuque (Iowa).

- MINSHALL, G. W., R. C. PETERSEN, K. W. KUMMINS, T. L. BOTT, J. R. SEDELL, C. E. CUSHING y R. L. VANNOTE (1983). Interbiome comparison of stream ecosystem dynamics. *Ecological Monographs*, 53 (1): 1-25.
- MONTEOLIVA, A. P., y C. MUÑOZ (2000). La gestión limnológica y el mantenimiento de la integridad ecológica en los embalses. *La Gestión del Agua*, 51: 60-69.
- MONZÓN, A., C. CASADO, C. MONTES y D. GARCÍA DE JALÓN (1991). Organización funcional de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos de un sistema fluvial de montaña (Sistema Central, río Manzanares, España). *Limnetica*, 7: 97-112.
- MORAIS, M., P. PINTO, P. GUILHERME, J. ROSADO e I. ANTUNES (2004). Assessment of temporary streams: the robustness of metric and multimetric indices under different hydrological conditions. En *Integrated Assessment of Running Waters in Europe*: 229-249. Springer Netherlands.
- OLLERO, A., M. SÁNCHEZ, J. M. MARÍN, D. FERNÁNDEZ, D. BALLARÍN, D. MORA, R. MONTORIO, S. BEGUERÍA y M. ZÚÑIGA (2004). Caracterización hidromorfológica del río Gállego. *Geografía física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*: 117-129. Universidad de Zaragoza / IFC. Zaragoza.
- ORTIZ CASAS, J. L. (2002). La directiva marco del agua (2000/60/CE): aspectos relevantes para el proyecto GUADALMED. *Limnetica*, 21 (3-4): 5-12.
- OSCOZ, J., F. CAMPOS y M.<sup>a</sup> C. ESCALA (2006). Variación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en relación con la calidad de las aguas A. *Limnetica*, 25 (3): 683-692.
- OSCOZ, J., D. GALICIA y R. MIRANDA (2009). *Macroinvertebrados de la cuenca del Ebro: descripción de taxones y guía de identificación*. Universidad de Navarra. Departamento de Zoología y Ecología. Pamplona.
- PERRÉ, I., M.<sup>a</sup> RIERADEVALL, N. PRAT, J. MARTÍN y R. CÉSPEDES (2010). Cambios en el estado ecológico de tres ríos producidos por el vertido de depuradoras. *Tecnología del Agua*, 320: 21-29.
- PETTS, G. E. (1984). *Impounded Rivers*. John Wiley & Sons. Chichester.
- PRAT, N., y A. MUNNÉ (2000). Water use and quality and stream flow in a Mediterranean stream. *Water Research*, 34 (15): 3876-3881.
- PUJANTE, A., F. MARTÍNEZ-LÓPEZ y G. TAPIA (1995). Macroinvertebrados y calidad de las aguas de los ríos próximos a la central térmica de Andorra (Teruel, España). *Limnetica*, 11 (2): 1-8.
- RIAÑO, P., A. BASAGUREN y J. POZO (1993). Variaciones espaciales en las comunidades de macroinvertebrados del río Agüera (País Vasco-Cantabria) en dos épocas con diferentes condiciones de régimen hidrológico. *Limnetica*, 9: 19-28.
- RIBERA, I., P. AGUILERA, C. HERNANDO y A. MILLÁN (2002). Los coleópteros acuáticos de la península ibérica. *Quercus*, 201: 38-42.

- ROBINSON, C. T., U. R. S. UEHLINGER y M. T. MONAGHAN (2004). Stream ecosystem response to multiple experimental floods from a reservoir. *River Research and Applications*, 20 (4): 359-377.
- RODRÍGUEZ, S. E., C. FERNÁNDEZ-ALÁEZ, M. FERNÁNDEZ-ALÁEZ y E. BÉCARES (1994). La cuenca alta del río Cares (NO España). *Limnetica*, 10 (1): 93-100.
- SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, D., P. ABELLÁN, J. VELASCO y A. MILLÁN (2004). Vulnerabilidad de los coleópteros acuáticos de la Región de Murcia. *Ecosistemas*, 13 (1): 29-35.
- SCHEIDEGGER, K. J., y M. B. BAIN (1995). Larval fish distribution and microhabitat use in free-flowing and regulated rivers. *Copeia*, 1: 125-135.
- SLOTO, R. A. (1987). *Effect of Urbanization on the Water Resources of Eastern Chester County, Pennsylvania*. WRI-87-4098. United States Geological Survey.
- SPONSELLER, R. A., E. F. BENFIELD y H. M. VALETT (2001). Relationships between land use, spatial scale and stream macroinvertebrate communities. *Freshwater Biology*, 46 (10): 1409-1424.
- TACHET, H., P. RICHOUX, M. BOURNAUD y P. USSEGLIO-POLATERA (2000). *Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie*. CNRS éditions. París. 588 pp.
- THIOULOUSE, J., D. CHESSEL, S. DOLÉDEC y J. M. OLIVIER (1997). ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing*, 7: 75-83.
- USSEGLIO-POLATERA, P., M. BOURNAUD, P. RICHOUX y H. TACHET (2000). Biomonitoring through biological traits of benthic macroinvertebrates: how to use species trait databases? En *Assessing the Ecological Integrity of Running Waters*: 153-162. Springer Netherlands.
- VAN NIEUWENHUYSE, E. E., y J. R. JONES (1996). Phosphorus chlorophyll relationship in temperate streams and its variation with stream catchment area. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53 (1): 99-105.
- VANNOTE, R. L., G. W. MINSHALL, K. W. CUMMINS, J. R. SEDELL y C. E. CUSHING (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37 (1): 130-137.
- WARD, J. V. (1989). The four-dimensional nature of lotic ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society*, 8: 2-8.
- WARD, J. V., y J. A. STANFORD (eds.) (1979). *The Ecology of Regulated Streams*. Plenum Press. Nueva York. 398 pp.
- WARD, J. V., y J. A. STANFORD (1995). Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. *Regulated Rivers: Research & Management*, 11 (1): 105-119.
- WEAVER, L. A., y G. C. GARMAN (1994). Urbanization of a watershed and historical changes in a stream fish assemblage. *Transactions of the American Fisheries Society*, 123 (2): 162-172.

- WELCH, E. B., J. M. QUINN y C. W. HICKEY (1992). Periphyton biomass related to point-source nutrient enrichment in seven New Zealand streams. *Water Research*, 26 (5): 669-675.
- WOOD, P. J., M. D. AGNEW y G. E. PETTS (2000). Flow variations and macroinvertebrate community responses in a small groundwater-dominated stream in South East England. *Hydrological Processes*, 14 (16-17): 3133-3147.
- YOUNG, R. G., C. D. MATTHAEI y C. R. TOWNSEND (2008). Organic matter breakdown and ecosystem metabolism: functional indicators for assessing river ecosystem health. *Journal of the North American Benthological Society*, 27 (3): 605-625.





## REACCIONES AGUA-ROCA EN LA CUENCA ALTA DE LOS RÍOS ISUELA Y FLUMEN (HUESCA)

Domingo MONAJ<sup>1</sup>  
José Luis VILLARROEL<sup>2</sup>  
José Antonio MANSO<sup>3</sup>  
José Antonio CUCHÍ<sup>2</sup>

RESUMEN.— El Prepirineo del Alto Aragón está formado por rocas carbonatadas cuya interacción con el agua de lluvia las transforma en agua de fuentes a través de procesos kársticos. El presente artículo presenta los resultados de diversos experimentos de la interacción entre muestras de agua de lluvia y diversas rocas de la zona.

ABSTRACT.— The Prepirinean range of Alto Aragón is formed by carbonate rocks. Their interaction with rainwater produces springwater through karst processes. The present paper describes the results of several experiments of interaction of samples of rainwater and several local rocks.

KEY WORDS.— Water, rock, interaction, Prepyrenees, Huesca (Spain).

### INTRODUCCIÓN

Una parte importante del Prepirineo del Alto Aragón está formada por rocas carbonatadas, en las que domina el carbonato cálcico. Hay abundantes

<sup>1</sup> C/ Alta, s/n. E-22193 NUENO. dmt\_nueno@yahoo.es

<sup>2</sup> Grupo de Tecnologías en Entornos Hostiles (GTE). Instituto Universitario de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A). Edificio I+D+i. Universidad de Zaragoza. C/ Mariano Esquillor, s/n. E-50018 ZARAGOZA. cuchi@unizar.es, jlvilla@unizar.es

<sup>3</sup> Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. manso@unizar.es

rasgos kársticos donde la infiltración del agua de lluvia a través de las rocas genera aguas subterráneas que afloran en diversos manantiales de química característica. Sin embargo, hay poca información sobre las características geoquímicas de las calizas del Prepirineo, así como sobre la interacción entre estas y el agua. Este es un tema de cierto interés por sus implicaciones. En esta línea, la bibliografía presenta varios ejemplos en otras zonas del mundo sobre formación de suelos, calidad de las aguas superficiales y subterráneas (NADLER y cols., 1980; LIU y cols., 2004), y en alteración de rocas y monumentos (FIGUEIREDO y cols., 2000; CARDELL-FERNÁNDEZ y cols., 2002).

Este artículo tiene como objetivo presentar información sobre las características de muestras representativas de aguas y rocas del Prepirineo central del Alto Aragón. Además, se han realizado tres tipos de ensayos intentado reproducir la interacción agua-roca.

#### ZONA DE ESTUDIO

El presente artículo se centra en las Sierras Exteriores o Prepirineo (fig. 1). Estas están formadas por una serie de alineaciones de mediana altura entre las depresiones intrapirenaicas y la tierra llana. Vista desde esta última, la zona de estudio presenta un desnivel muy característico y francamente abrupto de centenares de metros. En el pie meridional, Nueno está a 727 msnm, Apiés a 678 metros, San Julián de Banzo a 744 y La Almunia del Romeral a 834. La cima del tozal de Guara alcanza los 2078 metros, pero la mayoría de las sierras cercanas culminan entorno a los 1500 metros: Gratal, 1543; Mediodía, 1452; La Calma, 1581; Puicuto, 1373; Águila, 1619, y Matapaños, 1532. Al norte, hay una serie de sierras de areniscas de menor altura, Bonés (1608 metros) y Lopina (1467 metros), que dan paso al valle del Guarga, con pequeñas localidades como Molino Villobas (788 metros) y Lanave (720 metros). Para complicar un poco más la topografía, entre las sierras aparecen incrustadas las depresiones de Rasal – Bentué de Rasal, Arguis, Belsué y Nocito-Used.

El clima es mediterráneo continental. Las precipitaciones medias oscilan entre 600 y 1000 milímetros y las temperaturas medias entre 10 y 13 °C: 674 milímetros y 13,1 °C en Apiés; 694 milímetros y 12,8 °C en Nueno; 793

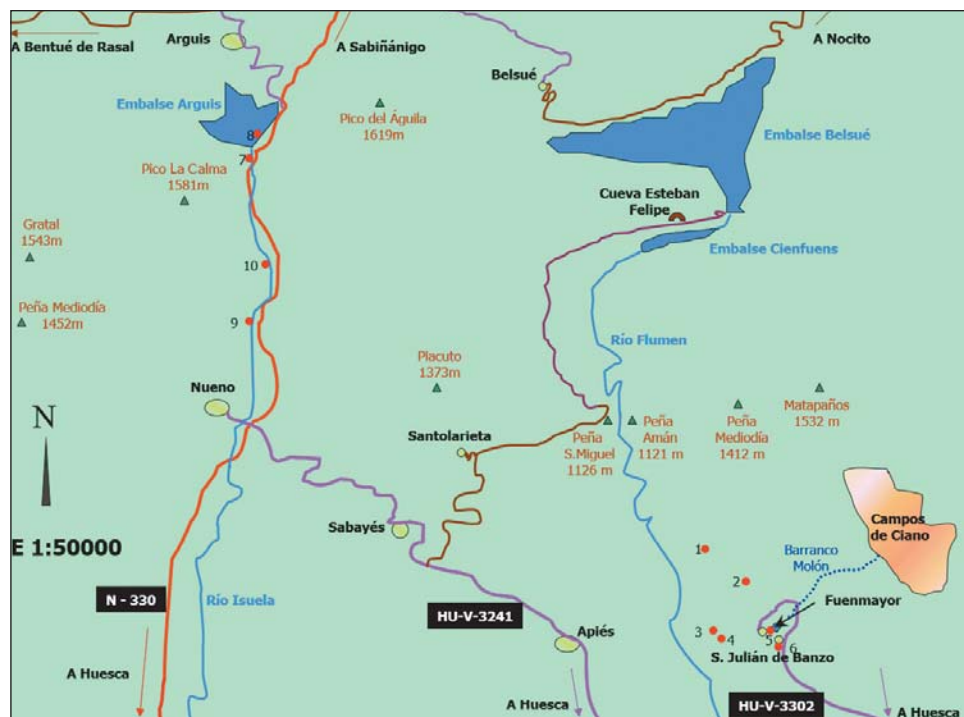


Fig. 1. Zona de trabajo.

milímetros y 12,2 °C en San Julián de Banzo; 1047 milímetros y 10,7 °C en la Casa de Administración del embalse de Belsué; 702 milímetros y 10,3 °C en Hostal de Ipiés; 808 milímetros y 10,7 °C en Aineto (DEL VALLE, 1997). Es necesario considerar que son datos de estaciones manuales, y que corresponden a periodos heterogéneos. Hay que reseñar, por otro lado, la ausencia manifiesta de estaciones termopluviométricas en alturas superiores a los 1000 metros, donde es razonable que se alcancen temperaturas menores y pluviometrías mayores. Un tema de cierto interés es el singular valor de pluviometría en Belsué, superior al resto de las estaciones.

La vegetación, estudiada por MONTSERRAT (1986), es de tipo mediterráneo: abundan la encina y el pino carrasco en el arbolado de las caras meridionales. En las caras norte del Peiró, Águila y barranco de la Pillera, aparece el pino silvestre y el haya. A nivel arbustivo dominan el boj y la coscoja. Las zonas abandonadas de cultivos están colonizadas por aliagas y artos espinosos. Las crestas altas y venteadas están cubiertas por arizones.

Geológicamente está conformada por materiales del Mesozoico inicial (facies Keuper y Muschelkalk), Cretácico superior, Eoceno medio y Oligoceno (MILLÁN, 2006; MONTES, 2009). Hasta el Eoceno medio abundan las calizas. A partir de este predominan facies terrígenas como las margas de Arguis y Belsué y las areniscas del Monrepós. En estas últimas rocas, el contenido en carbonato cálcico es importante. Los conglomerados y areniscas del Mioceno del valle del Ebro, en el margen meridional de las sierras, también tienen un alto contenido en el mencionado mineral. En las calizas son muy abundantes los rasgos kársticos, estudiados por RODRÍGUEZ VIDAL (1986) y otros autores. Datos hidroquímicos de los manantiales asociados al karst de la zona se presentan en BUERA y cols. (1997) y PUYAL y cols. (1998). Un manantial muy estudiado en la zona es el de Fuenmayor, en San Julián de Banzo (VILLARROEL y CUCHÍ, 2002 y 2004; VILLARROEL y cols., 2002; OLIVÁN, 2013).

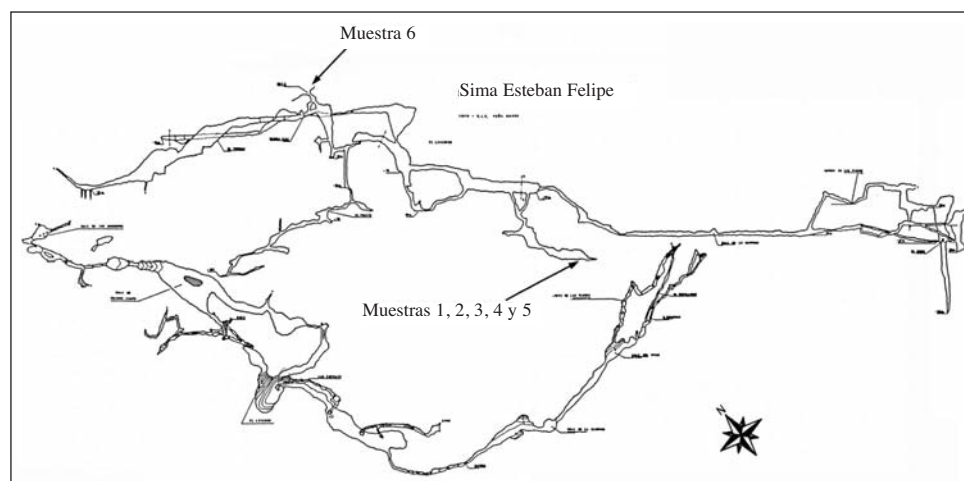
#### MUESTREOS Y MÉTODOS ANALÍTICOS

Para el presente estudio se muestrearon rocas y aguas de la zona. La ubicación de las rocas muestreadas en el primer trimestre de 2002 y una mínima descripción se presentan en la tabla I.

Es una primera selección, a criterio de los autores, a partir de su conocimiento del territorio. En su mayor parte son calizas del Prepirineo, del Muschelkalk, el Cretácico superior y el Eoceno medio (formación Guara). Un primer grupo (muestras 1 a 6) está formado por espeleotemas y calizas de la cueva de Esteban Felipe, en las proximidades del embalse de Santa María de Belsué. La ubicación detallada de estas se presenta en la figura 2. Un segundo grupo (muestras 7 a 10) corresponde a calizas y areniscas del entorno del manantial de Fuenmayor, en San Julián de Banzo. Un tercer grupo son rocas del entorno de la presa de Arguis y la cercana cueva de Sanclemente. Las dos últimas corresponden a las rocas del final del congado del Isuela. Para los análisis y experimentos se ha partido de rocas molidas como equivalente a suelo derivado de las mismas, en una aproximación que debiera ser analizada con mayor detalle mediante un trabajo específico. Las muestras se molieron en un molino de mandíbulas y se tamizaron en tamiz de luz de 2 milímetros. En la muestra molida se determinaron el contenido en carbonato cálcico mediante calcímetro de Bertrand

**Tabla 1.** Rocas muestreadas, coordenadas y descripción.

	<i>Tipo de roca</i>	<i>Coordenadas H30T</i>			<i>Descripción</i>
1	Estalactita	717850	4686850	860	Zona del sifón. Cueva de Esteban Felipe
2	Estalagmita	717850	4686850	860	Igual que la muestra anterior
3	Cresta estalagmítica	717850	4686850	860	Igual que la muestra anterior
4	Caliza	717850	4686850	860	Igual que la muestra anterior. Eoceno
5	Caliza	717850	4686850	860	Igual que la muestra anterior. Eoceno
6	Caliza	717850	4686850	860	Lenera en la boca de la cueva de Esteban Felipe. Eoceno
7	Caliza	718600	4679700	720	San Julián de Banzo. Pista a Fuenmayor. Eoceno
8	Arenisca	718600	4679700	720	San Julián de Banzo. Pista a Fuenmayor. Mioceno
9	Caliza	719050	4678790	710	Manantial de Fuenmayor. Eoceno
10	Caliza	719750	4678300	840	Cantera, junto a Pirotecnia. Cretácico
11	Marga	712000	4686720	925	Arguis, junto a la muestra de agua 7. Eoceno
12	Caliza	712000	4686720	925	Arguis, San Clemente. Eoceno
13	Caliza	712100	4687000	960	Arguis, junto a la presa. Eoceno
14	Caliza	712200	4684120	800	Fuente de la Ralleta. Muschelkalk
15	Caliza	712260	4684840	860	Junto a la fuente de la Cantera. Muschelkalk

**Fig. 2.** Muestras en la cueva de Esteban Felipe. Mapa del Grupo de Exploraciones Subterráneas Peña Guara.

y el pH de una suspensión de 10 gramos de roca en 25 milímetros de agua (1 : 2,5) tras media hora de contacto.

Además, se recogieron aguas de lluvia en la localidad de Nueno en diversos episodios entre el 1 de marzo y el 9 de julio de 2002 con un embudo limpio de plástico y botellas nuevas de plástico. El pH se determinó mediante pHmetro Orión 290 A portátil, con un electrodo de vidrio Ingold con compensación de temperatura mediante el oportuno calibrado con los correspondientes tampones. La conductividad eléctrica (CE) se estableció con conductímetro Orión 122.

Para conocer casos reales, se recogió una serie de muestras de aguas superficiales y subterráneas en la misma época. La ubicación de estas se muestra en la figura 1 y en la tabla II. Las aguas superficiales y subterráneas se recogieron en botellas nuevas de PET de dos litros de capacidad con llenado hasta la misma embocadura. Se procede a su transporte de inmediato en nevera portátil a los laboratorios de la Escuela Politécnica Superior de Huesca donde se conservaron en la oscuridad a 4 °C. En campo se determinó la CE y temperatura del agua mediante un conductímetro Orión 122. También

**Tabla II.** Puntos de agua, fecha, coordenadas y descripción de puntos de agua muestreados.

	Nombre	Fecha de muestreo	Coordenadas UTM H30T			Descripción
			X	Y	Z	
1	Fuendebién	6/3/2002	717960	4681430	910	C. San Julián de Banzo a Salto de Roldán
2	Val	6/3/2002	718840	4680390	760	Rezumen próximo al barranco de San Martín
3	Escarbe	6/3/2002	717380	4677720	670	Camino de Apiés a San Julián
4	Fuente del Plano	6/3/2002	717390	4678000	660	Próxima a Escuarbe, en un campo
5	Fuenmayor	6/3/2002	719050	4678790	710	San Julián de Banzo. Abastece a Huesca
6	Fuente de Dos Caños	6/3/2002	719000	4678300	710	San Julián de Banzo, cerca de la iglesia
7	Marga de Arguis	22/2/2002	712000	4686720	925	Cerca de la entrada a la cueva de San Clemente
8	Pantano de Arguis	22/2/2002	712100	4687000	960	En la misma orilla del embalse del mismo nombre. Embalse al 40%
9	Fuente de la Ralleta	12/3/2002	712200	4684120	800	Antigua carretera. Km 17. Abrigo
10	Fuente de la Cantera	12/3/2002	712260	4684840	860	Antigua carretera. Km 17,9. Muro
11	Cueva de Esteban Felipe		717850	4686850	860	Agua de la cueva de Esteban Felipe

se determinó el oxígeno disuelto mediante un oxímetro YSI 55-50. Además, se recogió agua de lluvia en un contenedor nuevo de polietileno, con un embudo de plástico nuevo para realizar ensayos de reacción agua-roca.

Las aguas superficiales y subterráneas se estudiaron con más detalle que el agua de lluvia. Potencial redox, pH y alcalinidad se determinaron en laboratorio en un plazo inferior a 24 horas. El pH mediante un pHmetro Orión 290 A portátil con un electrodo de vidrio Ingold de pH con compensación de temperatura, así como con el oportuno calibrado con los correspondientes tampones. El eH se determinó mediante el mismo equipo, el electrodo correspondiente con puente de KCl y tampón redox de 481 mV. La alcalinidad se determinó por valoración con solución de ácido sulfúrico diluido y naranja de metilo. La solución ácida se contrastó con una disolución de hidróxido sódico recién preparada valorada con biftalato potásico. Los iones sodio, potasio, calcio, bario y litio se establecieron en un fotómetro de llama Jenway PFP7. El ion magnesio por complexometría con AEDT. Los cloruros, por el método de Möhr mediante valoración argentométrica con cromato potásico como indicador. Los nitratos por medio de espectrofotometría de absorción molecular UV-Visible en un UNICAM Helios Épsilon sobre muestra acidificada con HCl. Los sulfatos por turbidimetría por precipitación con  $\text{BaCl}_2$  en solución de Tween 20 y medio ácido en un espectrofotómetro de absorción molecular UNICAM Helios Épsilon. La sílice también por espectrometría en el ya citado espectrofotómetro de absorción molecular UNICAM Helios Épsilon, en medio ácido, con molibdato amónico, EDTA, ácido tartárico y sulfito sódico. No se han determinado metales pesados dado que estudios previos han mostrado que están prácticamente ausentes en este tipo de aguas. Los datos analíticos de las aguas se trataron mediante el programa de especiación WATEQ4F, del US Geological Survey. Los diagramas de Stiff y Piper se realizaron mediante el programa Aquachem, de Waterloo Hydrologic.

A partir del agua de lluvia recogida y las rocas molidas, se estudió la interacción agua de lluvia-roca mediante tres tipos de experimentos: (1) contacto agua-roca sin agitación, (2) contacto agua-roca con agitación, (3) contacto roca-agua por percolación. Dentro de este último caso se han realizado pruebas aisladas teniendo en cuenta el efecto del secado y del espesor del lecho. En el primer caso, se intenta simular el proceso de interacción en un charco

de agua superficial. Con el segundo, la interacción en una corriente de agua, superficial o subterránea. En ambos casos, el experimento se considera abierto, dado que la solución está en contacto con la atmósfera y puede captar cuanto dióxido de carbono considere conveniente. Con el tercero, se estudia la percolación del agua de lluvia a través del suelo, simulando un proceso natural de recarga de un acuífero.

En el primer experimento se utilizaron 200 milímetros de agua y 100 gramos de roca molida, manteniéndose la mezcla durante unos 5 días. La disolución de roca se controla por medición de la conductividad eléctrica de la solución mediante el conductímetro ya descrito, inicialmente en cortos periodos de tiempo que luego se aumentan a 12 y 24 horas.

La serie de experimentos de contacto agua-roca con agitación se ha realizado a partir de la mezcla de 200 milímetros de agua de lluvia y 100 gramos de roca molida en un agitador magnético con un imán recubierto de teflón. Al igual que la serie de experimentos anterior, se controla la disolución de la roca mediante la medición de la CE a intervalos dados de tiempo.

El tercer tipo de experimentos se ha realizado por percolación de agua de lluvia a través de un espesor dado de roca molida. Se ha utilizado un tubo de PVC de 0,5 metros de longitud y 2 centímetros de diámetro, unido mediante material aislante a una preforma también de PVC de 10 centímetros de longitud e igualmente 2 centímetros de diámetro con un pequeño orificio en el fondo. El espesor del suelo por el que se va a infiltrar el agua será de 60 centímetros. Tubo y preforma se rellenaron con la roca molida y seca sin utilizar ningún tipo de instrumento para favorecer la compactación. Sobre el conjunto indicado se coloca una bureta graduada con agua de lluvia y se provoca un flujo constante de dicha agua sobre la parte superior mediante un gotero clínico. En la parte inferior se recoge el agua. En esta, a periodos dados, se ha medido la CE de forma singular para diferentes fracciones de volumen percolado. El volumen mínimo de medición era de 9 mililitros.

El volumen percolado se ha revelado en función de la naturaleza de la roca y conductividad hidráulica de la columna experimental. En algún caso —muestras del interior de la cavidad Esteban Felipe—, el volumen de roca muestreada fue insuficiente para rellenar todo el equipo. Se ha realizado también un experimento adicional con la caliza 13, de la que se tomó, por



razones logísticas, una masa de varios kilogramos. Por un lado, se ha realizado un experimento para estudiar el efecto de una fase de secado dentro del proceso de percolación. Así, una vez realizado un primer proceso de percolación se ha procedido al secado en estufa a 50 °C, entendiendo este valor como la temperatura extrema que podría alcanzar la roca en el medio natural. Posteriormente, se ha vuelto a realizar otro proceso de percolación para comparar si variaciones en el espesor pueden influir en el resultado. Se han realizado pruebas con diferentes masas de roca molida (49,7, 62,7, 79,4, 108,1, 151,1 y 197,6 gramos, respectivamente).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Rocas*

La tabla III presenta los valores de pH y porcentaje de carbonato cálcico para las rocas muestreadas. Como era de esperar, la mayor parte de las muestras de rocas presentan un alto contenido de carbonato cálcico. Los espeleotemas son prácticamente calcita pura al igual que la mayoría de las calizas de la cueva de Esteban Felipe. Otras calizas del Eoceno presentan también valores muy altos. Los menores contenidos aparecen en las muestras de marga de Arguis y de arenisca de San Julián de Banzo (34 y 54%, respectivamente). El primer valor indica que el contenido está en el límite entre una arcilla calcárea y una marga propiamente dicha. Todos los valores de pH obtenidos superan el valor de 9,0. Es un valor sorprendentemente alto, dado que las soluciones de caliza en agua dan valores de pH entre 8 y 9,0 (OATES, 1998). Sin embargo, este valor se puede elevar por la presencia de dolomita (STEVENS y CARRON, 1948) o por efecto de la molienda y rotura de cristales (CONDE y cols., 2007, 2009). Estos resultados necesitarían de un estudio más detallado.

### *Aguas de lluvia*

Como se ha señalado se recogieron aguas de diferentes eventos de lluvia en Nueno, algunas de cuyas características se muestran en la tabla IV, para utilizarlas como reactivo para estudiar la reacción entre esta y las muestras de roca. Es de señalar, que solo se utilizaron las aguas recogidas en los cuatro primeros eventos. Las aguas de lluvia analizadas son ligeramente

ácidas. Son valores normales que se encuentran dentro del rango habitual de precipitaciones analizadas en la Escuela Politécnica Superior de Huesca (datos no publicados). Además, son valores superiores a 5,5, que se indica como valor límite entre lluvia ácida y agua de lluvia con CO<sub>2</sub> disuelto. Cabe reseñar que la CE de los eventos de primavera es inferior a los del verano, lo que indica probablemente una menor presencia de polvo en la atmósfera.

**Tabla III.** Resultados analíticos de las rocas muestreadas.

	<i>Tipo</i>	<i>Localidad</i>	<i>pH</i>	<i>Carbonato cálcico (%)</i>
1	Estalactita	Cueva de Esteban Felipe	9,54	100
2	Estalagmita	Cueva de Esteban Felipe	9,61	100
3	Costra estalagmítica	Cueva de Esteban Felipe	9,34	100
4	Caliza	Cueva de Esteban Felipe	9,27	100
5	Caliza	Cueva de Esteban Felipe	9,43	96
6	Caliza	Cueva de Esteban Felipe	9,25	100
7	Caliza	San Julián de Banzo	9,17	87
8	Arenisca	San Julián de Banzo	9,31	54
9	Caliza	San Julián de Banzo	9,40	100
10	Caliza	San Julián de Banzo	9,56	89
11	Marga	Pantano de Arguis	9,14	34
12	Caliza	Cueva de Sanclemente	9,45	100
13	Caliza	Arguis	8,56	94
14	Caliza	Fuente de la Ralleta	9,49	99
15	Caliza	Fuente de la Cantera	9,55	82

**Tabla IV.** Características de la lluvia en Nueno entre marzo y junio de 2002.

<i>Fecha</i>	<i>Precipitación en milímetros</i>	<i>pH</i>	<i>Conductividad (μS/cm 25 °C)</i>
1-3-2002	20	6,92	14,6
14-3-2002	14,1	6,30	15,8
16-3-2002	28	6,44	20,5
1-4-2002	15	6,24	19,4
22-5-2002	12		41
4-6-2002	12		44
8-7-2002	35		28
9-7-2002	11		31

*Aguas superficiales y subterráneas*

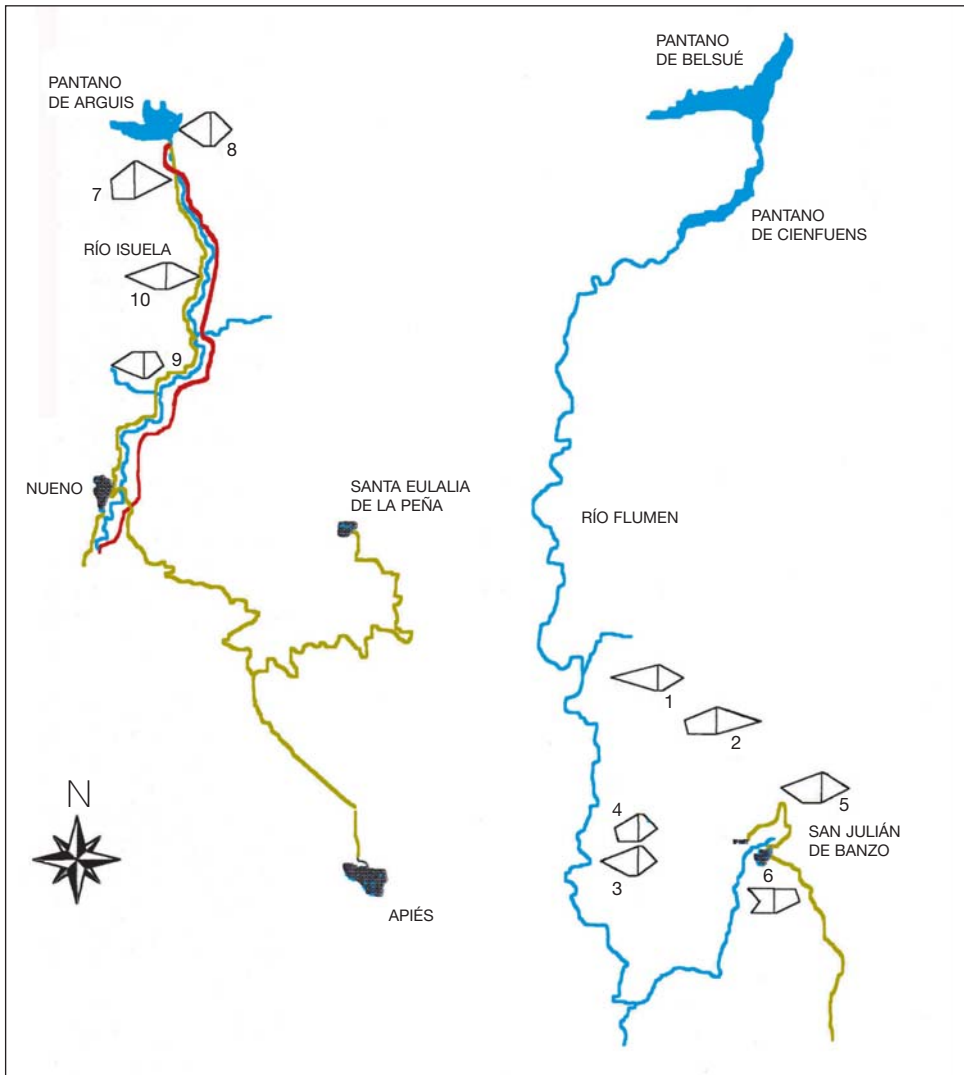
Las analíticas de aguas superficiales y subterráneas se muestran en la tabla v. Son datos similares a los presentados por BUERA y cols. (1977), PUYAL y cols. (1998) y CUCHÍ y cols. (1999). Estas aguas tienen conductividad moderada, pH ligeramente básico, con presencia de oxígeno disuelto, y un potencial redox positivo.

**Tabla v.** Características analíticas de aguas de manantial del Prepirineo.

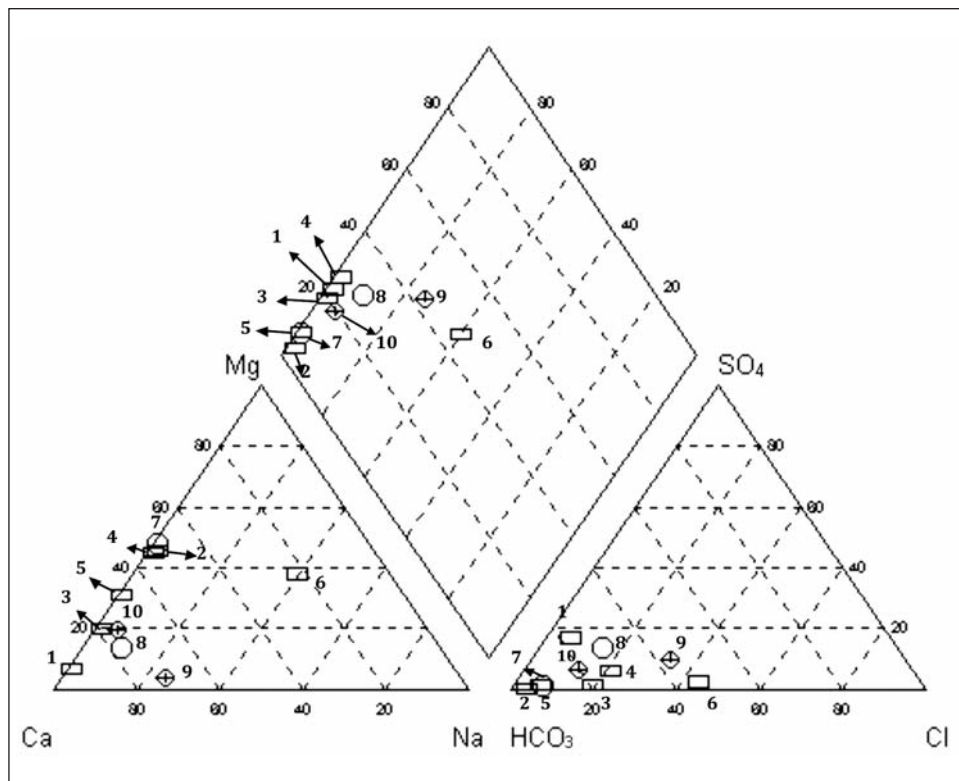
	Temp. (°C)	pH	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	eH (mV)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)
Fuendebién	13,5	7,2	697	264,1	2,34	1,91	6,06	144,22
Val	6,98	7,08	550	261,7	3,7	1,131	47,38	89,2
Fuente Escuarbe	11,1	7,93	653	268,7	2,11	1,39	14,7	95
Fuente del Plano	7,7	8,22	702	270,8	2,34	1,05	33,35	65,09
Fuenmayor	12	7,3	456	278,4	1,43	0,966	28	100,1
Fuente de Dos Caños	14,4	7,29	998	276,2	89,13	2,86	45,2	44
Manantial de Arguis	9,3	8,25	433	291,3	1,21	0,88	28,3	49,42
Pantano de Arguis	6	8,2	452	289,1	10,27	2,68	7,71	72,11
Fuente la Ralleta	12,7	7,51	687	202,1	39,2	2,43	2,99	96,68
Cantera de Nuevo	12,1	7,29	593	220,6	8,23	1,48	15,14	96,68

	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	SiO <sub>2</sub> (mg/l)	Dureza	O disuelto %
Fuendebién	10,5	40,23	3,8	233,18	2,61	386	70,90%
Val	9,1	0,78	3,2	382,85	2,49	418	49,60%
Fuente Escuarbe	21	1,81	14,2	151,84	4,95	298	87,80%
Fuente del Plano	26,6	9,81	16,2	156,18	2,42	300	87,90%
Fuenmayor	9,1	2,83	4,4	212,57	1,38	246	69,50%
Fuente de Dos Caños	115,5	8,51	4,7	241,86	0,89	296	79,40%
Manantial de Arguis	10,5	2,74	3	233,18	0,92	240	76,30%
Pantano de Arguis	18,9	22,62	2,9	147,5	1,33	212	88,00%
Fuente la Ralleta	62,3	24,48	4,1	178,95	0,89	254	72,90%
Cantera de Nuevo	23,1	15,67	3,7	241,86	1,35	304	90,30%

Las aguas subterráneas tienen una temperatura próxima a la media local, lo que sugiere cortos tiempos de residencia y flujos poco profundos en los acuíferos. Dominan los bicarbonatos y el calcio. Sodio y cloruros presentan baja concentración, excepto en la fuente de Dos Caños, en San Julián de Banzo, que tiene el valor más alto de CE. Se admite que descarga un acuífero relacionado con la facies Keuper (CUCHÍ y cols., 2014). Los nitratos son bajos,



**Fig. 3.** Diagramas de Stiff de las aguas muestreadas.



**Fig. 4.** Diagrama de Piper de aguas de las zonas altas de los ríos Isuela y Flumen.

dado que la mayor parte de la zona estudiada está en un área natural, prácticamente sin urbanización. Los valores más altos, Escuarbe y del Plano, corresponden a manantiales situados en la periferia del cultivo de cereal de secano.

Los diagramas de Stiff (fig. 3) indican una cierta similitud en la química de las aguas, excepto en Dos Caños. A su vez, el diagrama de Piper (fig. 4) muestra que la mayoría de las aguas son bicarbonatado-cálcicas. La excepción es, otra vez, Dos Caños (6), que es de tipo bicarbonatado-cálcico-magnésica. Los valores altos de ion magnesio sugieren que puede haber calizas tipo magnesianas y, tal vez, dolomita.

Aplicando el programa de especiación Aquachem se ha calculado el índice de saturación de diversos minerales que se presenta en la tabla VI. Varias de las aguas presentan una saturación o sobresaturación con índices

positivos de índice de saturación en minerales carbonatados, como calcita y aragonito, pero también en dolomita e incluso en magnésita. Alguna también presenta saturación en cuarzo.

### *Interacción agua de lluvia – roca: contacto directo*

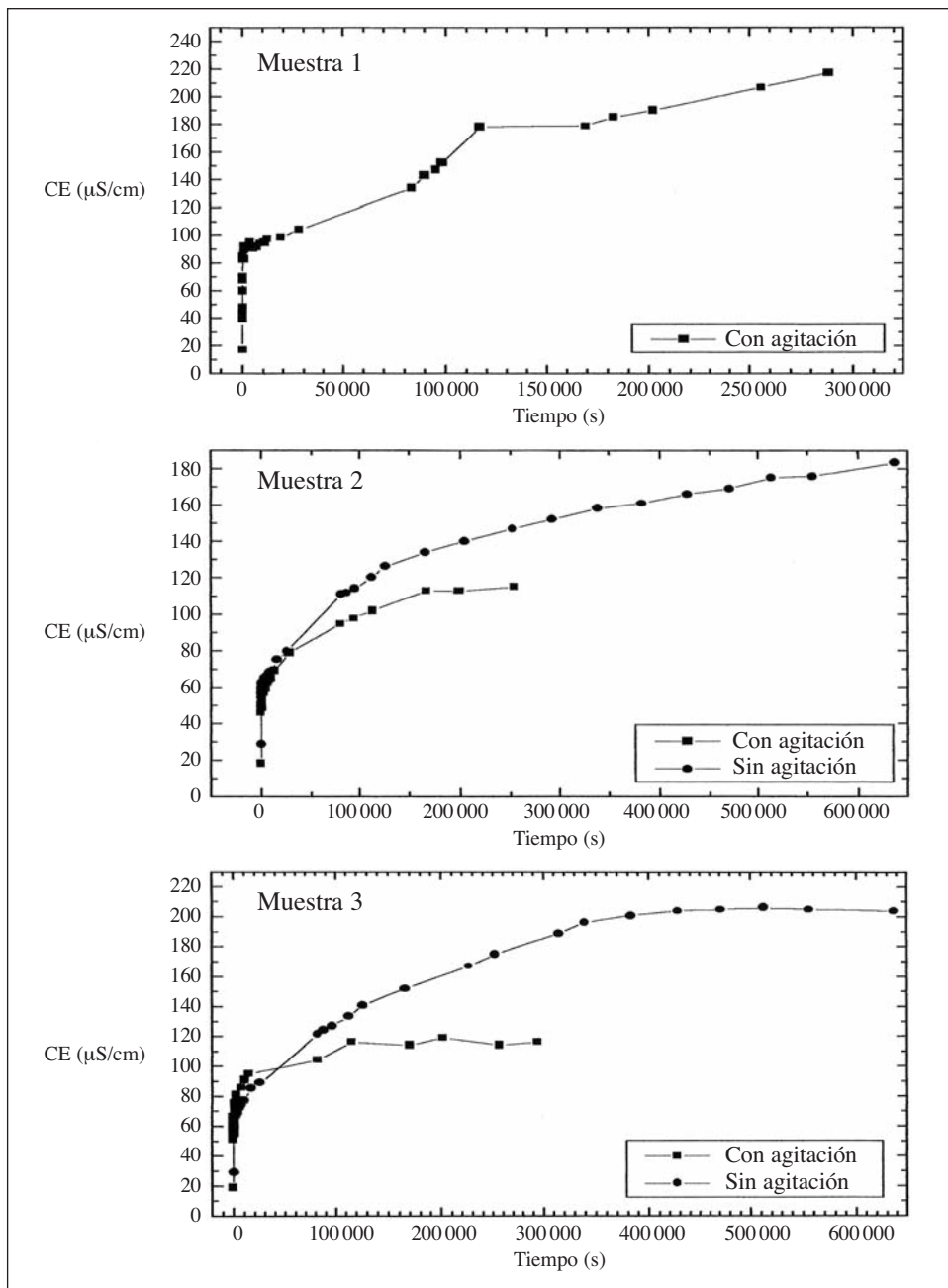
Los resultados del contacto directo con y sin agitación se presentan en forma gráfica en las figuras 5.1 a 5.5. Se observa que el tiempo de contacto sin agitación es mayor que el tiempo con ella por la fuerte abrasión de la capa de teflón de los imanes. Se finalizaba cada experimento de este tipo cuando se observaba que el núcleo de hierro quedaba al descubierto. En general, como era de esperar, a igualdad de tiempo y para una misma roca, la disolución es más rápida con agitación. Una interesante excepción son las muestras estalagmíticas (2 y 3) de la cueva de Esteban Felipe, efecto de difícil explicación por ahora. La marga del Eoceno medio de la cuenca de Arguis (muestra 11) presenta un comportamiento indiferente. En la mayoría de las muestras, hay un efecto de solapamiento entre ambos métodos, del orden de 3 horas y 80 microSiemens/cm. Pasado este tiempo, el incremento de conductividad se modera y, aunque creciente, apunta hacia valores de CE compatibles con los valores de las aguas naturales de la tabla v. La excepción es la caliza 13, de color gris y rica en numulites, que aparece en el cortado de la carretera entre la cueva de Sanclemente y la presa de Arguis. En esta roca, las conductividades obtenidas son elevadas. Este hecho puede ser de tipo natural o ser resultado de una contaminación por los solutos de los fundentes utilizados en el mantenimiento de carreteras para evitar la formación de placas de hielo en este tramo.

### *Interacción agua de lluvia – roca: percolación*

Los experimentos por percolación a través de 0,6 metros de roca molida se muestran en las figuras 6.1 a 6.5. La conductividad se ha determinado sobre diferentes volúmenes de percolado. Los experimentos muestran que la primera fracción de agua ofrece una CE superior a la del resto del percolado y que, conforme aumenta el volumen de agua recogido, disminuye la fracción disuelta. Algunas muestras, como la 7 y la 11, tuvieron una baja conductividad hidráulica (CH). En el segundo caso, parece claro que la presencia de

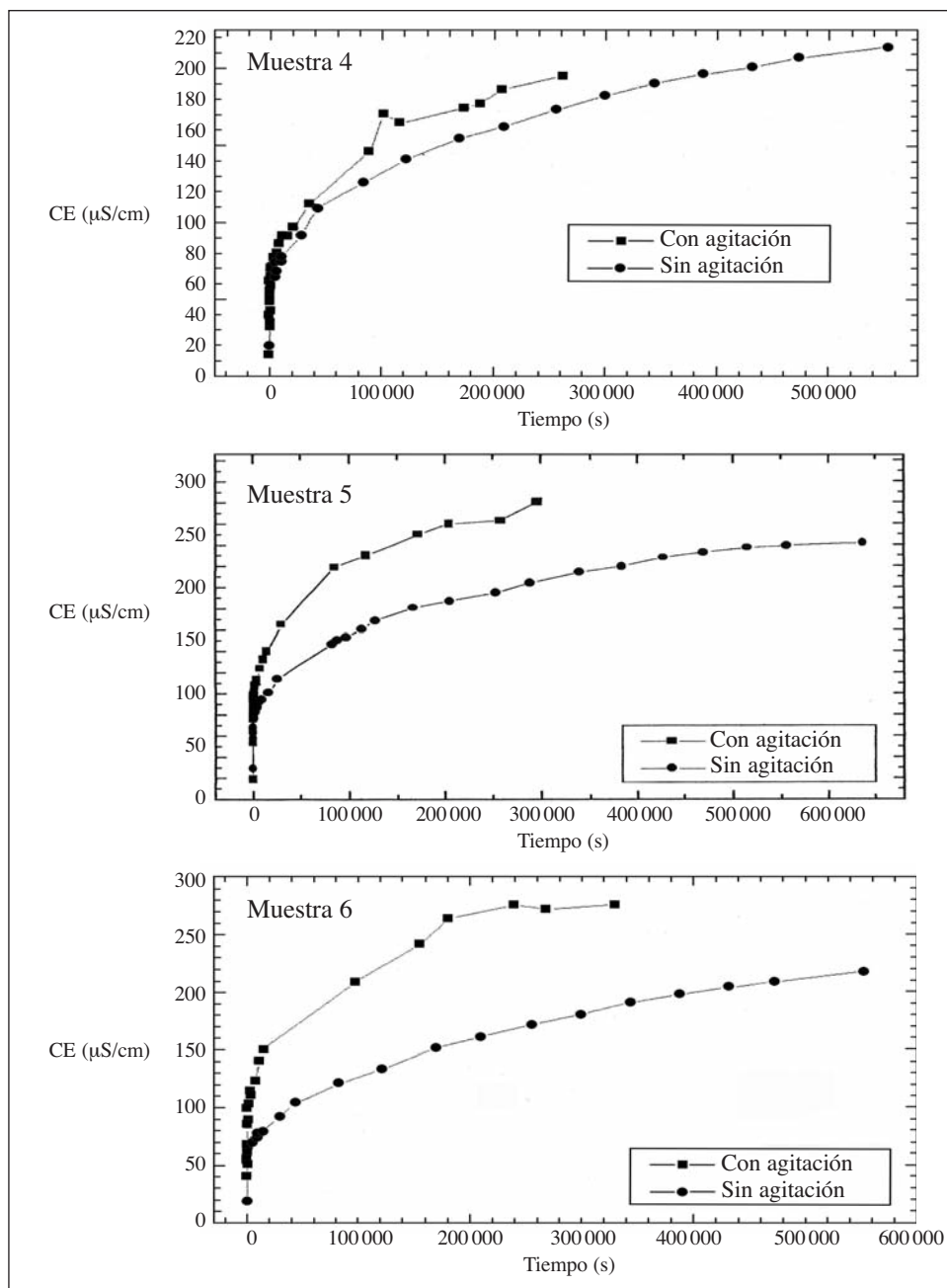
**Tabla vi.** Índice de saturación de diversos minerales en las aguas muestreadas, según Aquachem.

	Fuendebién	Val	Escuarbe	F. del Plano	Fuencamayor	Dos Caños	Arguis	Pantano	Ralleta	Cantera
Anhidrita	-2,045	-4,031	-3,528	-2,992	-3,551	-3,202	-3,621	-2,567	-2,385	-2,595
Aragonito	-304	-307	<b>271</b>	<b>340</b>	-442	-483	<b>460</b>	<b>328</b>	-055	-154
Artinita	-7,696	-8,198	-5,551	-5,339	-7,709	-7,705	-5,147	-5,475	-6,603	-7,188
Brunita	-7,184	-6,570	-5,045	-4,372	-5,955	-5,631	-4,256	-5,168	-6,473	-6,254
Calcita	-1,152	-1,149	<b>425</b>	<b>497</b>	-289	-331	<b>616</b>	<b>487</b>	<b>098</b>	-001
Calcedonia	-702	-643	-397	-666	-961	-1,181	-1,107	-904	-1,161	-972
Crisotilo	-11,968	-9,738	-4,839	-3,209	-8,736	-8,303	-3,815	-6,000	-10,718	-9,658
Clinoenstatita	-5,914	-5,220	-3,462	-3,046	-4,939	-4,842	-3,377	-4,075	-5,658	-5,249
Gel sílice	-1,499	-1,425	-1,188	-1,449	-1,755	-1,980	-1,894	-1,683	-1,956	-1,765
Diópsido	-7,966	-7,542	-3,575	-3,193	-7,086	-7,226	-3,937	-4,534	-7,304	-7,176
Dolomita	-1,493	-507	<b>182</b>	<b>784</b>	-692	-450	<b>1,100</b>	<b>049</b>	-1,141	-646
Forsterita	-13,346	-12,084	-8,772	-7,707	-11,153	-10,714	-7,911	-9,546	-12,385	-11,761
Yeso	-1,691	-3,589	-3,141	-2,558	-3,177	-2,860	-3,210	-2,107	-2,021	-2,222
Halita	-9,166	-9,017	-8,892	-8,737	-9,423	-6,550	-9,426	-8,231	-7,159	-8,267
Huntita	-8,012	-5,063	-4,143	-2,483	-5,337	-4,524	-1,772	-4,664	-7,457	-5,775
Hidromagnesita	-20,468	-15,820	-13,901	-11,052	-15,465	-14,040	-10,174	-14,712	-19,337	-16,735
Magadita	-13,604	-13,875	-10,856	-12,873	-15,515	-16,393	-15,863	-14,300	-16,243	-15,409
Magnesita	-1,671	-655	-561	-013	-726	-453	<b>175</b>	-727	-1,565	-969
Mirabilita	-10,068	-11,053	-11,331	-10,320	-11,491	-7,607	-11,504	-8,548	-7,748	-9,275
Nacrolita	-5,852	-5,378	-6,054	-5,968	-6,074	-4,268	-6,091	-5,322	-4,728	-5,269
Natrón	-12,239	-11,340	-11,481	-10,992	-12,317	-8,785	-11,401	-9,686	-9,341	-10,768
Nesqueonita	-4,689	-3,667	-3,577	-3,025	-3,742	-3,472	-2,838	-3,737	-4,582	-3,985
Cuarzo	-173	-087	<b>143</b>	-112	-426	-655	-560	-342	-628	-437
Sepiolita	-9,441	-7,849	-4,177	-3,534	-7,716	-7,796	-4,675	-5,789	-9,370	-8,348
Vidrio de sílice	-1,214	-1,158	-909	-1,180	-1,473	-1,691	-1,620	-1,419	-1,672	-1,484
Talco	-9,686	-7,197	-1,894	-725	-6,939	-6,997	-2,249	-3,952	-9,335	-7,884
Thenardita	-11,577	-12,896	-12,965	-12,136	-13,078	-9,068	-13,235	-10,458	-9,298	-10,857
Termonatrita	-14,220	-13,639	-13,581	-13,265	-14,372	-10,721	-13,592	-12,047	-11,361	-12,818
Tremolita	-19,962	-16,575	-3,368	-1,407	-15,443	-15,801	-4,433	-7,304	-18,280	-16,567
Trona	-20,256	-19,525	-19,941	-19,715	-20,707	-15,129	-20,082	-17,940	-16,313	-18,342
Sepiolita	-13,110	-11,972	-8,016	-7,620	-11,491	-11,401	-8,644	-10,001	-13,095	-12,116

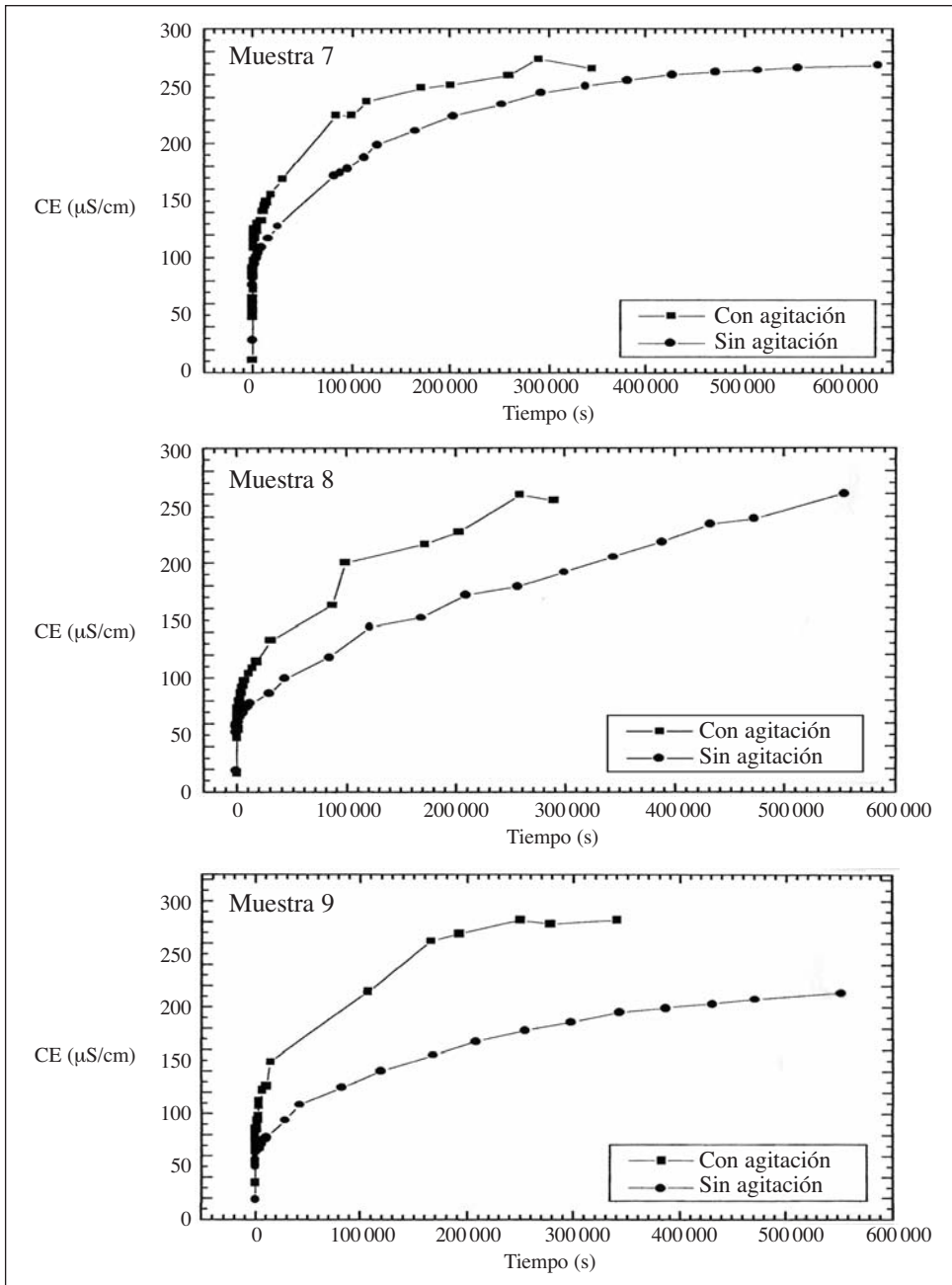


**Fig. 5.1.** Resultados por muestras del contacto agua – roca molida, con y sin agitación. Muestras 1 a 3. Espeleotemas de la cueva de Esteban Felipe (Belsué).

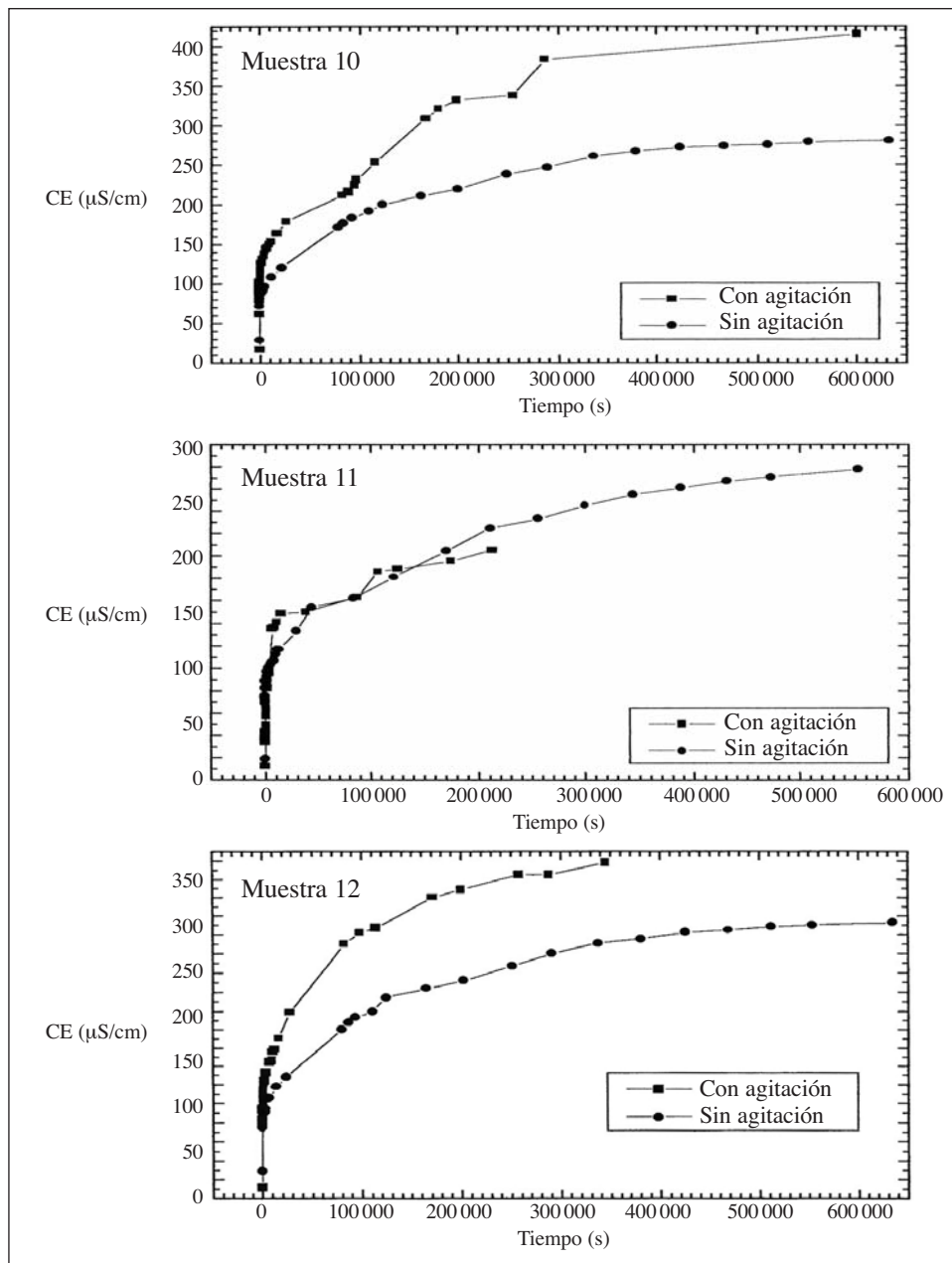




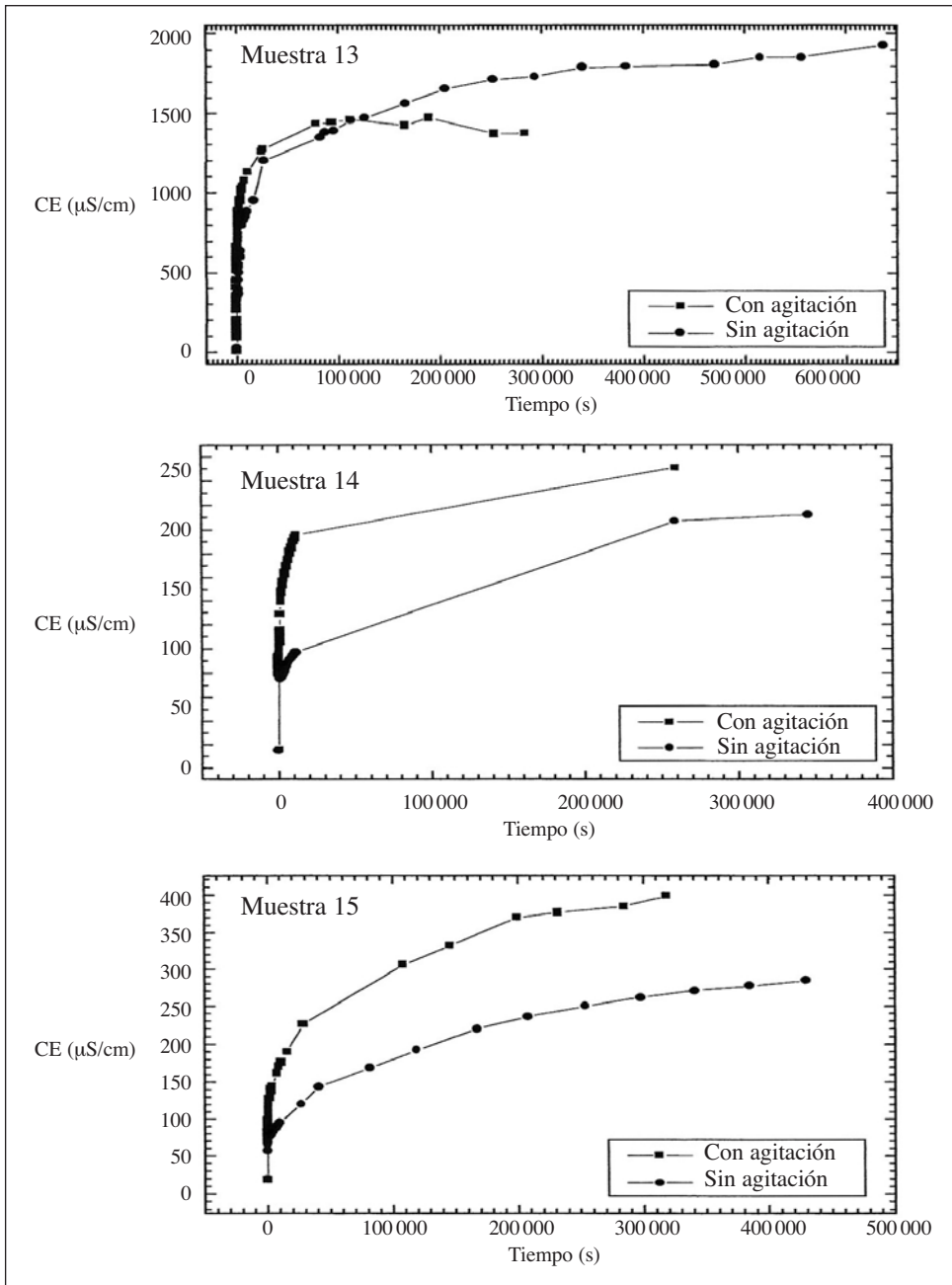
**Fig. 5.2.** Resultados del contacto agua – roca molida, con y sin agitación. Muestras 4 a 6. Calizas del Eoceno de la cueva de Esteban Felipe (Belsué).



**Fig. 5.3.** Resultados del contacto agua – roca molida, con y sin agitación. Muestras 7 a 9. Rocas del entorno de San Julián de Banzo. Dos calizas y una arenisca (8).



**Fig. 5.4.** Resultados del contacto agua – roca, con y sin agitación. Muestras 10, caliza de la Pirotecnia (San Julián de Banzo); 11, marga de Arguis; 12, caliza de Arguis en la boca de la cueva de San Clemente.

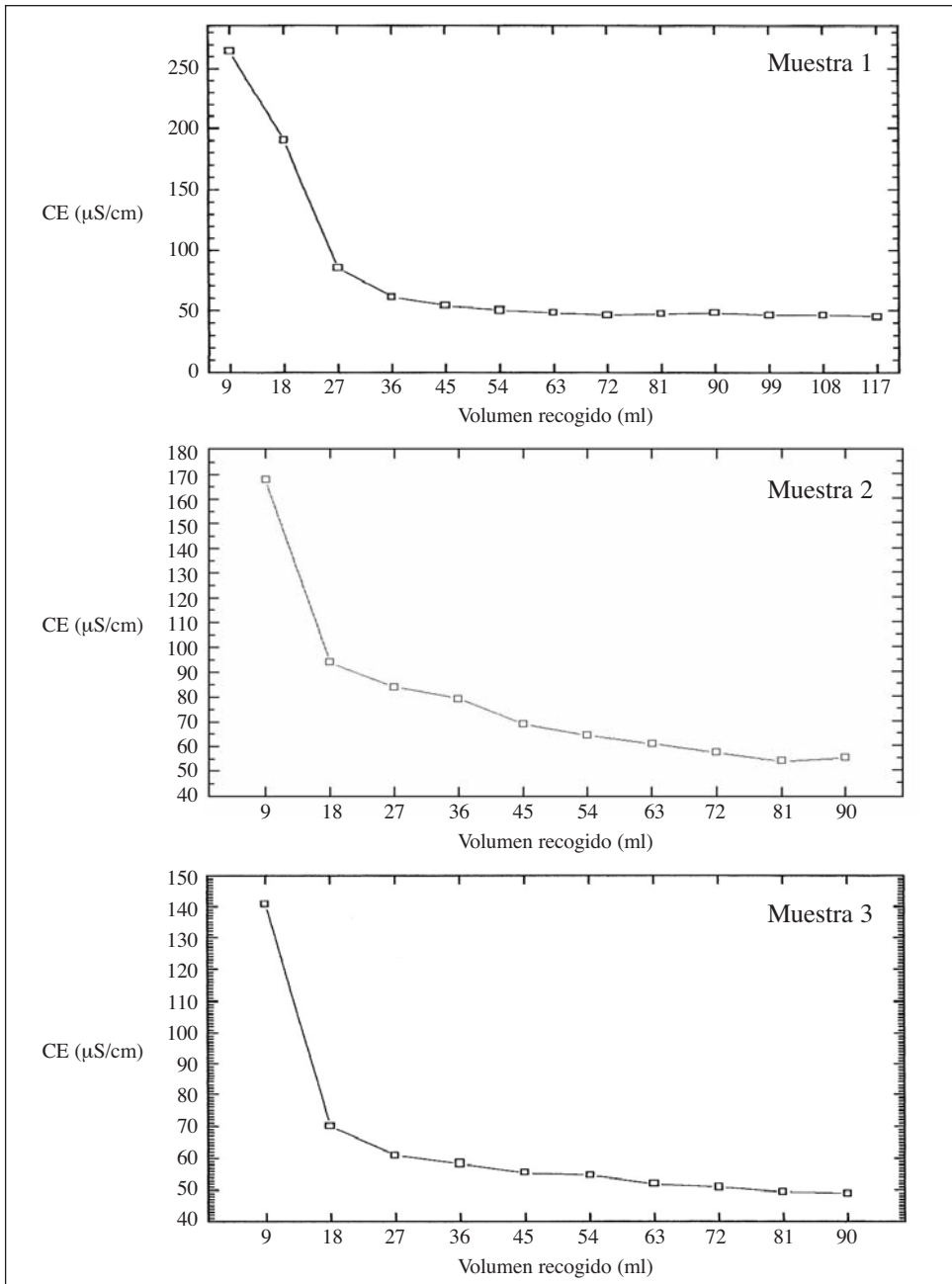


**Fig. 5.5.** Resultados del contacto agua – roca molida, con y sin agitación. Muestras 13, marga de Arguis; 14 y 15, calizas del Muschelkalk en las cercanías de Nuño.

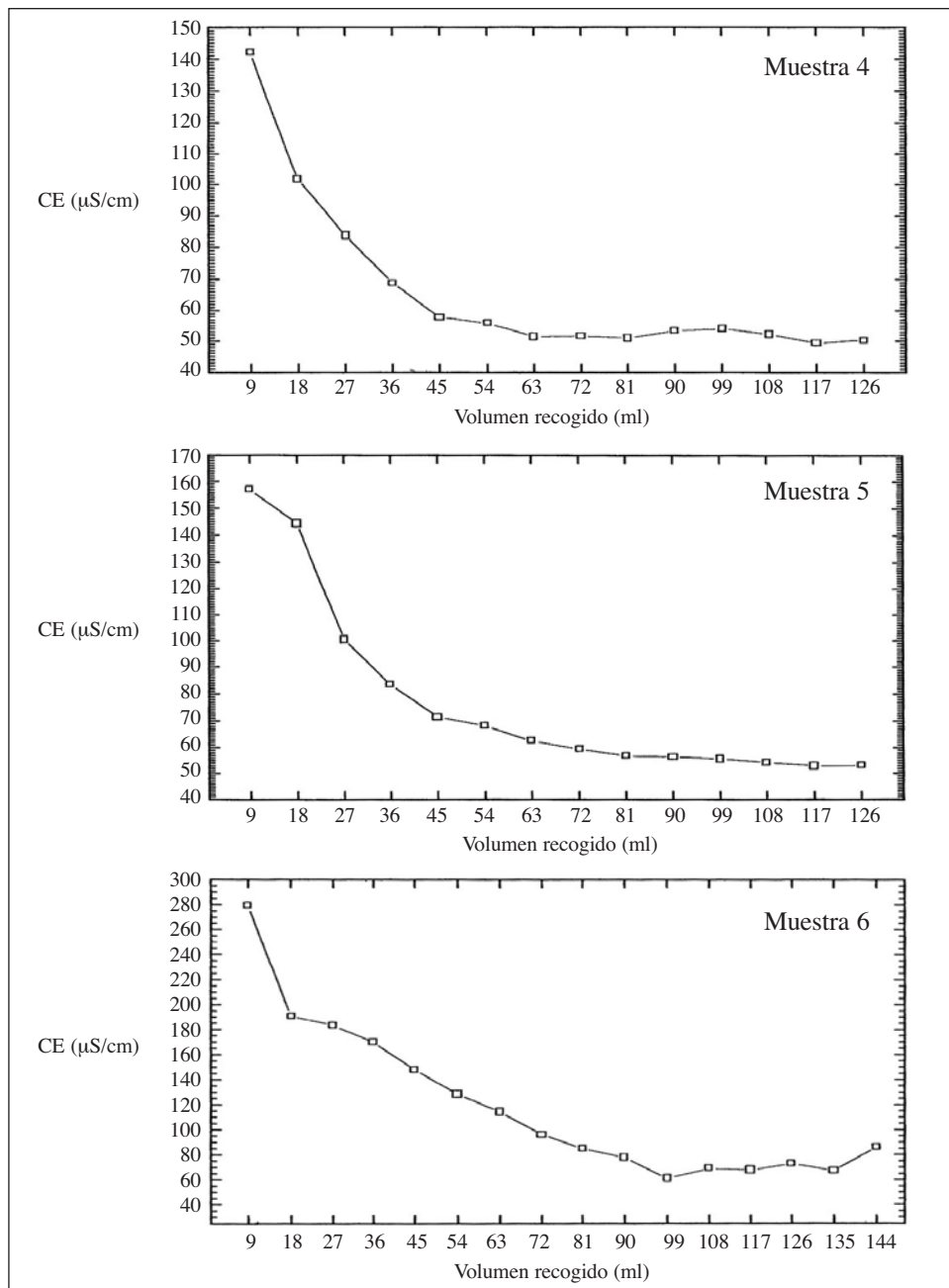
fracción fina en la marga limita la percolación, pero en el primer caso no hay todavía una razón adecuada. Los resultados sugieren que la CH disminuye al aumentar la fracción no carbonatada de las muestras. En algunos experimentos se sugiere la presencia de un valor asintótico, que en bastantes muestras está cerca de los 100 microSiemens/cm, pero hay diversas excepciones. El elevado pico inicial presenta cierto interés. Pudiera explicarse por efecto de la molienda de la roca que produjera material fino con mayor solubilidad que la fracción más gruesa debida a la mayor superficie reactiva a igualdad de masa. Este efecto es limitado y decae con cierta rapidez. El valor inicial del pico es heterogéneo. Se intuye alguna relación con las características petrológicas de la roca y es, una vez más, tema que necesitaría mayor estudio.

El valor más alto corresponde a la ya mencionada muestra 13, que también mostraba una alta CH. En esta, el valor inicial destaca del resto y mantiene CE elevadas durante el resto del experimento. La tendencia asintótica a elevados valores de percolado sugiere que se trata de una aportación natural de sales, al margen de la hipotética contaminación por fundentes de origen antropológico. Quizás la posición estratigráfica de estos materiales bajo las margas de Arguis pudiera explicar este comportamiento. En la misma muestra 13, se realizó un experimento de secado a 50 °C. Se intentaba representar el comportamiento de un suelo ante dos chaparrones separados en el tiempo. La figura 6.5 (arriba) muestra un repunte apreciable de CE al volver a reanudarse la percolación. Sugiere que el proceso de secado produce una acumulación de solutos en forma sólida, fácilmente lixiviales en el frente de una nueva humectación. Pero se observa que tras una fase de meseta se pasa a un segundo descenso, muy acusado, para el que no se tiene explicación en estos momentos. Un último experimento se realizó con la caliza número 13, modificando el espesor de la roca molida percolada.

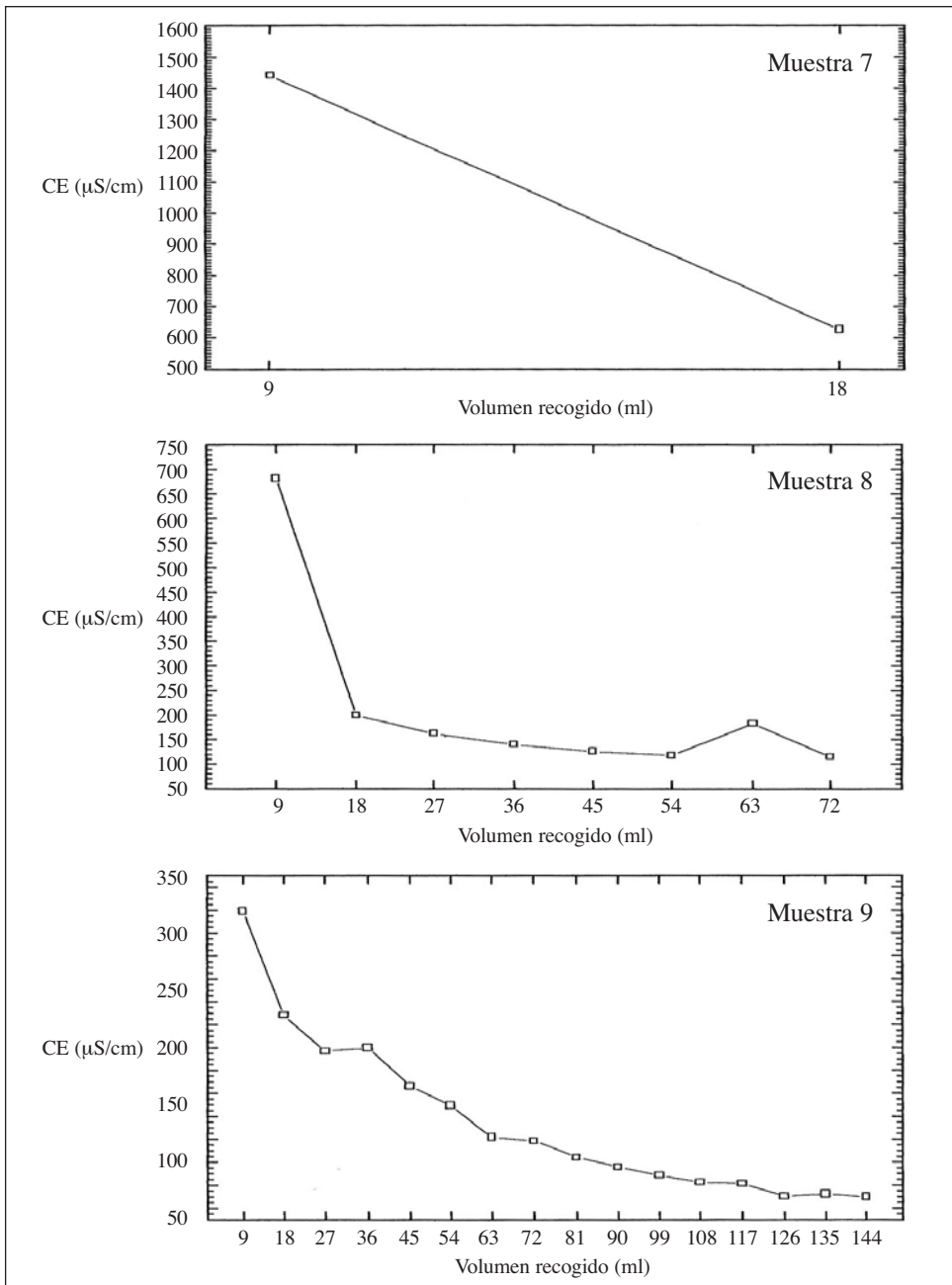
Los resultados (fig. 7) presentan el mismo esquema que en el conjunto de experimentos anteriores, es decir, que la primera fracción es más concentrada que el resto. Además, los valores iniciales son similares al experimento previo con este mismo material. Como es de esperar, a igualdad de volumen percolado, a mayor longitud de columna corresponde una mayor CE. Sin embargo, los valores finales son menores a menor longitud de columna y menor masa lixiviada, lo que sugiere una limitación en el



**Fig. 6.1.** Resultados de percolación de agua de lluvia a través de roca molida. Muestras 1 a 3. Espeleotemas de la cueva de Esteban Felipe (Belsué).

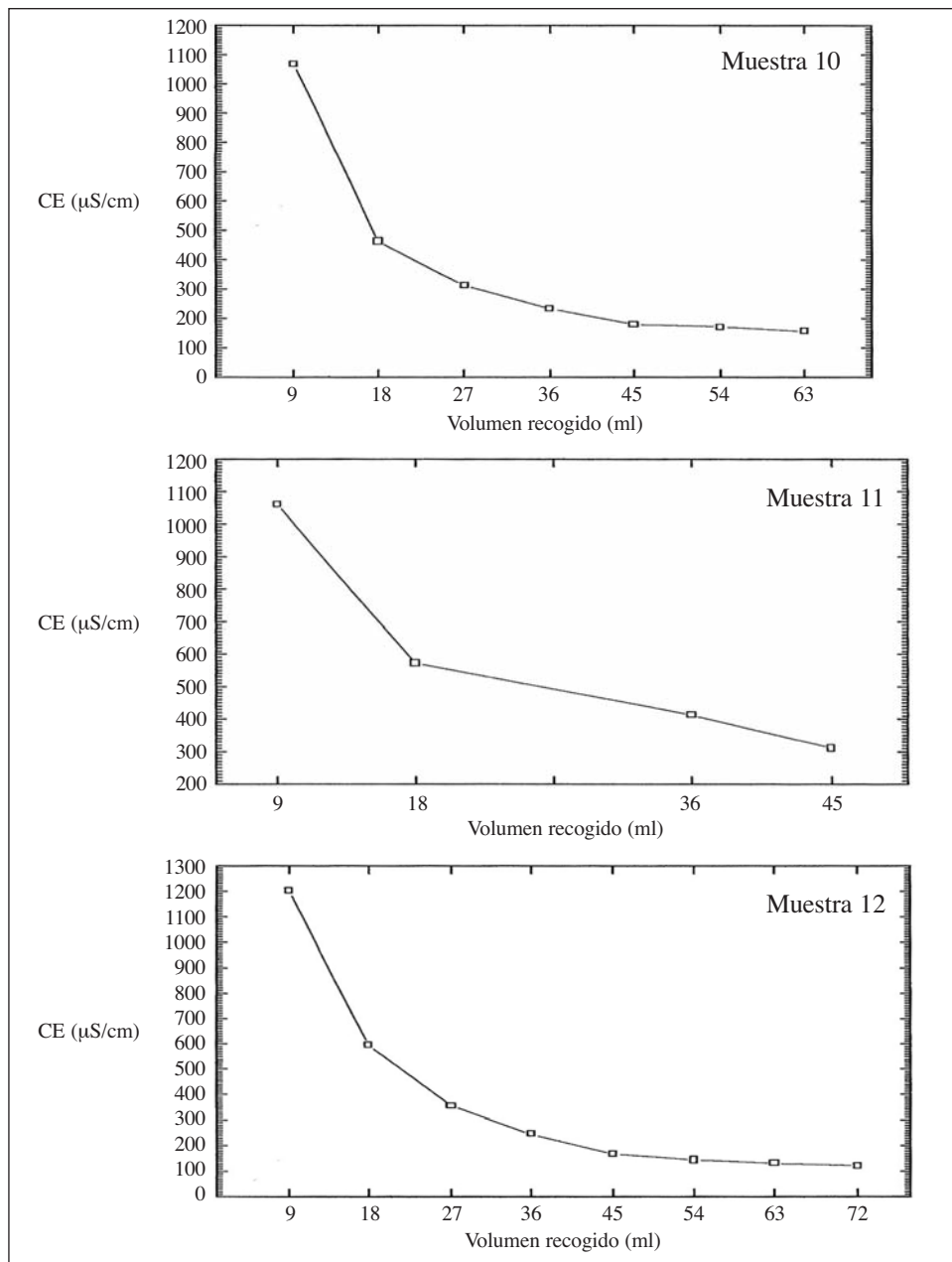


**Fig. 6.2.** Resultados de percolación de agua de lluvia a través de roca molida. Muestras 4 a 6. Calizas del Eoceno de la cueva de Esteban Felipe (Belsué).

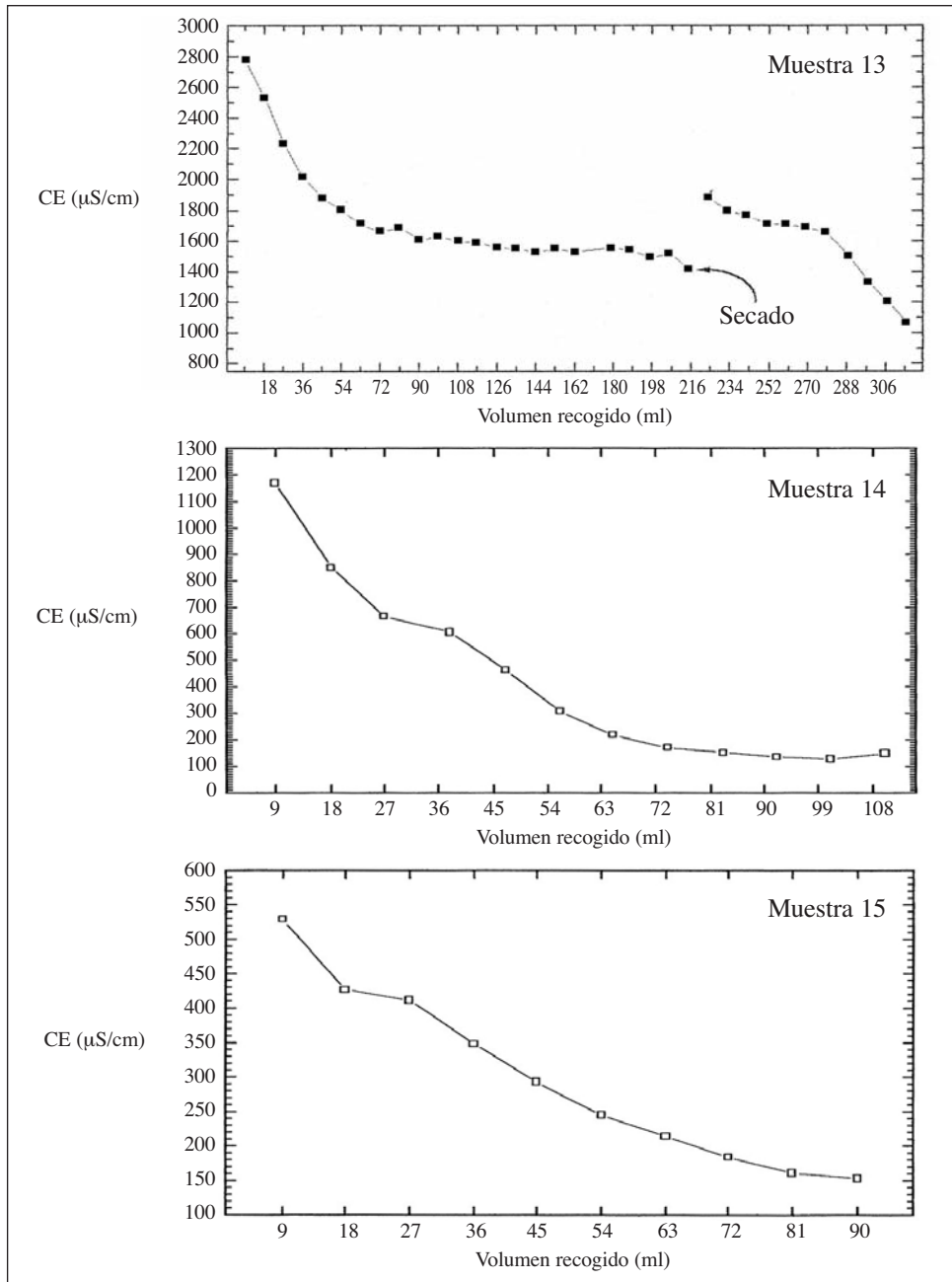


**Fig. 6.3.** Resultados de percolación de agua de lluvia a través de roca molida. Muestras 7 a 9. Rocas del entorno de San Julián de Banzo. Dos calizas y una arenisca (8).

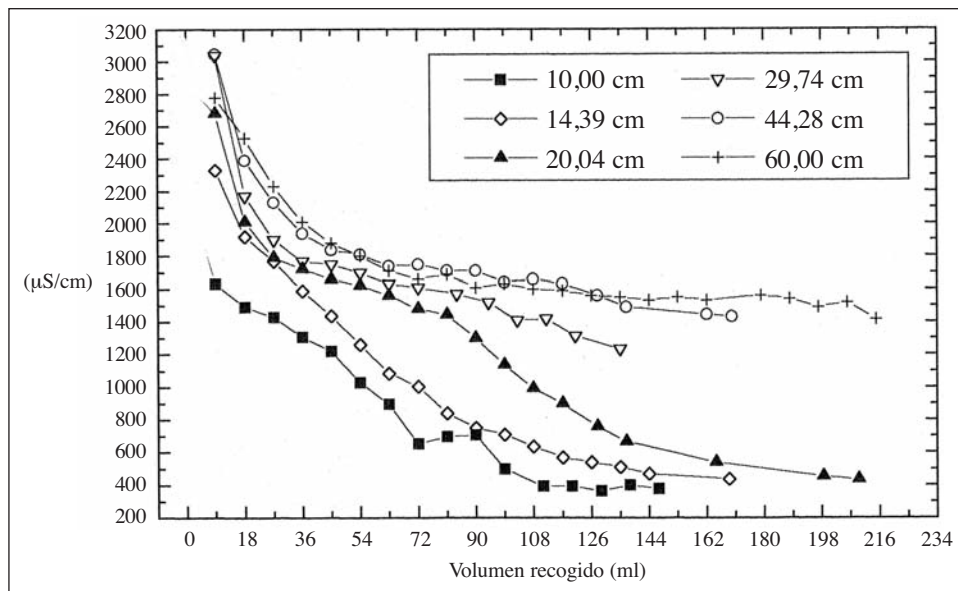




**Fig. 6.4.** Resultados de percolación de agua de lluvia a través de roca molida. Muestras 10, caliza de la Pirotecnia (San Julián de Banzo); 11, margas de Arguis; 12, caliza de Arguis en la boca de la cueva de San Clemente.



**Fig. 6.5.** Resultados de percolación de agua de lluvia a través de roca molida. Muestras 13, marga de Arguís; 14 y 15, calizas del Muschelkalk en las cercanías de Nueno.



**Fig. 7.** Resultados de percolación de agua de lluvia a través de espesores diferentes de roca molida. Muestra 13. Caliza a techo del Eoceno calizo, entre la boca de la cueva de Sanclemente y la presa de Arguis.

contenido de solutos. Los valores finales de las columnas más cortas se acercan a las de las restantes rocas carbonatadas.

## CONCLUSIONES

El artículo ofrece un conjunto de datos sobre aguas y rocas de una zona del Prepirineo del Alto Aragón. Son básicos sobre el pH y contenido en carbonato cálcico de las rocas de esa zona, así como nuevos datos sobre la química de la lluvia y las aguas de diversos manantiales de esa área. Los resultados indican que el agua de los manantiales kársticos es el resultado de la interacción entre el agua de lluvia y las rocas locales. Y, por otro lado, se pone en evidencia la existencia de una ya sospechada heterogeneidad en las rocas y aguas de la zona.

La información que aquí se ofrece es susceptible de servir de base para futuros estudios.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos las observaciones del doctor David Badía sobre el pH de los suelos calcáreos y el denominado *pH de abrasión*. Asimismo, la ayuda de Joaquín Lanuza, Ángel Jiménez y Gonzalo Gonzalo en la realización de los experimentos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUERA, J., J. A. CUCHÍ y J. A. MANSO (1997). Hidroquímica de las aguas naturales de los sectores occidental y central de la sierra de Guara (Huesca). *Lucas Mallada*, 9: 35-63.
- CARDELL-FERNÁNDEZ, C., G. VLEUGELS, K. TORFS y R. VAN GRIEKEN (2002). The processes dominating Ca dissolution of limestone when exposed to ambient atmospheric conditions as determined by comparing dissolution models. *Environmental Geology*, 43: 160-171.
- CONDE, P., J. A. MARTÍN y R. JIMÉNEZ (2007). Chemical vulnerability of red soils in La Mancha (Central Spain). *Science of the Total Environment*, 378: 228-232.
- CONDE, P., J. A. MARTÍN, R. GARCÍA-GIMÉNEZ y R. JIMÉNEZ (2009). Determination of the neutralization capacity of soils using abrasión pHs. Base cations concentrations and mineralogy in Castilla-La Mancha (Spain). *Fresenius Environmental Bulletin*, 18 (3): 280-293.
- CUCHÍ, J. A., J. A. MANSO, M. SUBÍAS y J. BUERA (1999). Hidroquímica de la sierra de Guara. En B. Andreo, F. Carrasco y J. J. Durán (eds.), *Contribución del estudio científico de las cavidades kársticas al conocimiento geológico*: 497-506. Patronato de la Cueva de Nerja. Nerja (Málaga).
- CUCHÍ, J. A., J. L. VILLARROEL y J. A. MANSO (2002). Características del manantial de Fuenmayor (San Julián de Banzo, Huesca). *Geogaceta*, 31: 75-78.
- CUCHÍ, J. A., D. CHINARRO y J. L. VILLARROEL (2014). Linear system techniques applied to the Fuenmayor karst spring, Huesca (Spain). *Environmental Earth Sciences*, 79: 1041-1060. DOI 10.1007/s12665-013-2509-6.
- DEL VALLE, J. (1997). *El clima del Prepirineo central y occidental aragonés y sus somontanos*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Zaragoza. 327 pp.
- ETTARZARINI, S. (2005). Processes of water – rock interaction in the Turonian aquifer of Oum Er-Rabia Basin, Morocco. *Environmental Geology*, 49: 293-299.
- FIGUEIREDO, C. A., J. M. MARQUÉS, A. M. MAURICIO y L. AIRES-BARROS (2000). Water – rock interactions and monuments stone decay: the case of Basilica da Estrela, Portugal. En *Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, vol. 1: 79-87. Elsevier. Amsterdam.

- LIU, Z., C. GROVES, D. YUAN, J. MEIMAN, G. JIANG, S. HE y Q. LI (2004). Hydrochemical variations during flood pulses in the south-west China peak cluster karst: impacts of  $\text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$  interactions. *Hydrological Processes*, 18. DOI: 10.1002/hyp.1472.
- MILLÁN, H. (2006). *Estructura y cinemática del frente de cabalgamiento surpirenaico en las Sierras Exteriores aragonesas*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 53). Huesca. 396 pp.
- MONTES, M. J. (2009). *Estratigrafía del Eoceno-Oligoceno de la cuenca de Jaca (sinclinatorio del Guarga)*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 59). Huesca. 355 pp.
- MONTSERRAT, J. M.<sup>a</sup> (1986). *Flora y vegetación de la sierra de Guara (Prepirineo aragonés)*. DGA (Naturaleza en Aragón, 1). Zaragoza. 334 pp.
- NADLER, A., M. MAGARITZ, F. MAZOR y U. KAFRI (1980). Kinetics of chemical processes in a carbonate aquifer: A case study of water – rock interaction in the aquifer of western and central Galilee (Israel). *Journal of hydrology*, 45 (1): 39-56.
- OATES, J. A. H. (1998). *Lime and limestone: Chemistry and Technology, Production and Uses*. John Wiley-VCH Verlag GmbH. Weinheim; Nueva York. 455 pp.
- OLIVÁN, C. (2013). *Delimitación, evaluación de la recarga y funcionamiento hidrodinámico del acuífero drenado por el manantial kárstico de Fuenmayor (Prepirineo aragonés)*. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza. Zaragoza. 196 pp.
- PUYAL, M. Á., J. A. CUCHÍ y J. A. MANSO (1998). Hidroquímica de aguas naturales del Pirineo aragonés. *Lucas Mallada*, 10: 173-188.
- RODRÍGUEZ, J. (1986). *Geomorfología de las Sierras Exteriores oscenses y su piedemonte*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 4). Huesca. 172 pp.
- SALAMERO, E. (2002). *Sierras de piedra y agua*. Camping Mascún. Huesca. 331 pp.
- STEVENS, R. N., y M. K. CARRON (1948). Simple field test for distinguishing minerals by abrasion pH. *American Mineralogist*, 33: 31-49.
- VILLARROEL, J. L., J. A. CUCHÍ y J. A. MANSO (2002). Características del manantial de Fuenmayor (San Julián de Banzo, Huesca). *Geogaceta*, 31: 75-78.
- VILLARROEL, J. L., y J. A. CUCHÍ (2002). Análisis de respuesta de Fuenmayor (San Julián de Banzo, Huesca). Primeros resultados. *Geogaceta*, 31: 121-124.
- VILLARROEL, J. L., y J. A. CUCHÍ (2004). Estudio cualitativo de la respuesta, de mayo de 2002 a abril de 2003, del manantial kárstico de Fuenmayor (San Julián de Banzo, Huesca) a la lluvia y la temperatura atmosférica. *Boletín Geológico y Minero*, 115 (2): 237-246.



## ESTUDIO ESTACIONAL DE LA CALIDAD ECOLÓGICA DEL RÍO CINCA (HUESCA) SEGÚN SUS COMUNIDADES DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS

Beatriz ORÓS<sup>1</sup>  
Rocío LÓPEZ-FLORES<sup>2</sup>  
José Antonio CUCHÍ<sup>3</sup>

RESUMEN.— El río Cinca es uno de los principales afluentes del río Ebro y uno de los ríos pirenaicos con mayor valor ambiental. Se encuentra sometido a diferentes impactos de origen antrópico que perturban el ecosistema fluvial. El objetivo de este artículo es analizar el efecto de los impactos antrópicos sobre la calidad ecológica del río Cinca. Para ello se realizó un muestreo estacional del río desde noviembre de 2012 hasta julio de 2013 estableciendo seis puntos de muestreo a lo largo del cauce (desde el Parador Nacional de Turismo de Bielsa hasta pasado el embalse de El Grado). Se midieron parámetros fisicoquímicos y la concentración de clorofila *a* a partir del perifiton. Se empleó la comunidad de macroinvertebrados para evaluar la calidad ecológica de cada punto de muestreo mediante el índice IBMWP y se determinó la abundancia de cada familia, diversidad, riqueza taxonómica y equidad. La calidad ecológica del río Cinca fue buena, sobre todo en otoño y primavera. Laspuña es el punto de muestreo que mejor calidad presentó. Se observó cómo los embalses modifican el régimen hidrológico del

---

<sup>1</sup> C/ Pablo Iglesias, 8. E-50018 ZARAGOZA. beatriz.oros.vela@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Instituto de Ciencias Ambientales (IUCA). Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. rocio.lopez@unizar.es

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. cuchi@unizar.es

río y sus características fisicoquímicas. Los taxones EPT (*Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Trichoptera*), indicadores de buena calidad, fueron más abundantes en los tramos alto y medio, y mostraron un mayor grado de perturbación río abajo.

ABSTRACT.— Cinca river is one of the main tributaries of Ebro river and one of the Pyrenean rivers with the highest environmental value. This river is under several anthropic impacts which are a source of perturbation. The main objective of the study was to analyse the effect of anthropic impacts on the ecological quality of the Cinca River. To reach this objective a seasonal sampling was carried out between November 2012 and July 2013 in six points along the Cinca River (from the Parador Nacional de Turismo of Bielsa to the El Grado Dam). Physicochemical parameters and chlorophyll *a* concentration were determined. The macroinvertebrate community was used to determine the ecological quality by means of the IBMWP index. The abundance of each family, diversity, richness and equity were also analysed. The ecological quality of the river was good, mainly in autumn and spring. Laspuña station showed the highest value of quality. The capacity of reservoirs of modifying the hydrological pattern and the physic-chemical parameters was observed. EPT taxa (*Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Trichoptera*), which are indicators of good quality, were more abundant in the middle and upper course of the river, indicating a higher degree of perturbation downstream.

KEY WORDS.— Ecological quality, IBMWP, benthic macroinvertebrates, reservoirs, Cinca River (Huesca, Spain).

## INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas fluviales han sido empleados desde antiguo por el hombre como fuente de recursos y como vía para la eliminación de residuos, lo cual ha producido una degradación histórica de estos (ABEL, 2000; ALONSO y CAMARGO, 2005). Los efluentes de aguas residuales domésticas (ORTIZ y cols., 2005) y la contaminación difusa de origen agrícola (LÓPEZ-FLORES y cols., 2003) representan algunas de las causas más comunes de degradación de la calidad del agua en los ecosistemas fluviales. Hoy en día, el continuo crecimiento de la población humana y de sus hábitos consumistas incrementan la cantidad de este tipo de vertidos. Además, el aumento de la población también determina una demanda de agua por encima de las disponibilidades de los ecosistemas sobre los que se asienta (GARCÍA DE JALÓN, 2008).



La contaminación es una de las causas principales de la disminución de especies animales y vegetales en los ecosistemas acuáticos (GIL QUÍLEZ y cols., 2001; OSCOZ y cols., 2004), como también lo es la alteración de los hábitats fluviales que produce la regulación de caudales (GARCÍA DE JALÓN, 2008) a causa de los embalses.

Las características de un embalse vienen determinadas por el tipo de uso que se pretenda dar al agua que contiene. Y el tipo de embalse condiciona a su vez las características de las aguas que salen por sus desagües. Sin embargo, los embalses, independientemente del uso al que estén destinados, alteran el régimen hidrológico natural y las condiciones del sistema (implican la transformación de un tramo de río lótico a uno lenítico con características lacustres), cambiando la estructura y la dinámica de las comunidades biológicas (JESÚS y cols., 2004) del ecosistema en el que se encuentran y de los adyacentes. Aguas arriba se producirá la deposición de material de pequeño tamaño (GARCÍA-RUIZ y cols., 1985) y, por lo tanto, la homogeneización del lecho y un aumento de la materia orgánica alóctona que en estado natural sería arrastrada por la corriente (LÓPEZ NÚÑEZ y cols., 2011). Además, se producen otros efectos, como la alteración del régimen térmico del agua y de su calidad (LÓPEZ MORENO y GARCÍA-RUIZ, 2003), que repercute directa o indirectamente en todo el ecosistema.

En los últimos tiempos, la sociedad europea ha empezado a valorar el agua como recurso y a querer conservarlo. La Directiva Marco del Agua (DMA 2000/60/CE) considera que el agua no es un bien comercial, sino un patrimonio que hay que defender y proteger. Y establece que se ha de determinar el estado ecológico de las aguas continentales, entendiéndose este como una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos (TORRALBA-BURRIAL y OCHARAN, 2007).

Para determinar la calidad del agua han sido utilizados de manera tradicional los parámetros fisicoquímicos, pero en la práctica solo se analizan algunos posibles contaminantes, ya que el coste de analizar todos y la gran carga de trabajo que conllevaría es inviable. Además, sus resultados se limitan al momento de la toma de la muestra (ALBA-TERCEDOR y SÁNCHEZ-ORTEGA, 1988). Por ello, los análisis biológicos se han convertido en un importante complemento de los análisis fisicoquímicos, no debiendo considerarse

como métodos excluyentes (ALBA-TERCEDOR, 1996; ALONSO y CAMARGO, 2005; OSCOZ y cols., 2008).

La bioevaluación de las aguas se fundamenta en la capacidad natural que tiene la biota de responder a los efectos de perturbaciones puntuales, permanentes, e incluso a las sufridas tiempo atrás. Para el análisis de la calidad de las aguas se han utilizado diferentes organismos: algas, diatomeas, macrófitos, vegetación riparia, invertebrados y peces. De todos ellos, los macroinvertebrados bentónicos son el indicador biológico más extendido y utilizado (PLATTS y cols., 1983; ALBA-TERCEDOR y cols., 2005; ALONSO, 2006; OSCOZ y cols., 2007). El uso de esta comunidad se debe a varias propiedades: su elevada diversidad taxonómica, que le permite presentar un amplio espectro de respuesta a las perturbaciones humanas, su naturaleza sedentaria y los largos ciclos de vida de algunos grupos, que permiten el seguimiento espacial y temporal de las perturbaciones (CAIRNS y PRATT, 1993). Además, su muestreo es sencillo y barato (MISERENDINO y PIZZOLÓN, 1999; BLISJWIJK y cols., 2004; ALONSO, 2006; KORTE y cols., 2010) e indican alteraciones a medio y largo plazo. En España, en 1988, ALBA-TERCEDOR y SÁNCHEZ-ORTEGA elaboraron el índice biológico BMWP' basado en macroinvertebrados que resultó de la adaptación del índice británico BMWP (Biological Monitoring Working Party) (ARMITAGE y cols., 1983). Finalmente, este índice ha tomado el nombre de IBMWP (Iberian Biological Monitoring Working Party) (ALBA-TERCEDOR y cols., 2002).

Son escasos los estudios independientes y de evolución de la calidad ecológica del río Cinca. Este artículo tiene como objetivo mostrar el efecto de las actividades antrópicas sobre la calidad ecológica en el río Cinca y su evolución a lo largo de un año. Para lograrlo se dividió en dos objetivos concretos:

- Analizar y comparar el estado ecológico de seis tramos fluviales y su variación estacional a lo largo de un año mediante el uso de diversos índices biológicos como son el IBMWP, la diversidad, la riqueza taxonómica de macroinvertebrados y el nivel trófico del tramo a partir de la concentración de clorofila bentónica.
- Relacionar los resultados de los diferentes índices bióticos y las características de la comunidad con los impactos antrópicos detectados a lo largo de la cuenca, prestando especial atención a las alteraciones hidromorfológicas.

## ÁREA DE ESTUDIO

El Cinca es uno de los principales afluentes del río Ebro. Nace en la Plana de Marboré, amplio circo glaciar entre Tres Sorores, Astazus y pico de Pineta, en el término municipal de Bielsa. Allí se encuentra el ibón de Marboré. Tras fluir hacia el este por el valle de Pineta, característico valle glaciar en U (CHE, 2002a), toma una clara dirección norte-sur desde los Pirineos hasta la depresión del Ebro. En su recorrido se le unen afluentes como el río Barrosa en Bielsa, el Cinqueta en Salinas, el Bellós en Escalona, el Ara en Aínsa, el Ésera en Olvena, el Vero en Barbastro, el Sosa en Monzón y el Alcanadre en Ballobar, y constituye así el río más importante del Pirineo central (GARCÍA-RUIZ y cols., 2013). Tras recorrer 190,7 kilómetros se une al río Segre a la altura de Torrente de Cinca para juntos desembocar en el río Ebro en Mequinenza (Zaragoza). La cuenca del Cinca ocupa dos terceras partes de la provincia de Huesca y partes menores de las de Lérida y Zaragoza.

Geológicamente es una cuenca compleja. En el norte afloran granitos y, sobre todo, calizas. En la depresión de Aínsa afloran margas grises, pero luego reaparecen las calizas, acompañadas de conglomerados de las sierras prepirenaicas. A partir de El Grado se pasa a areniscas, limos, arcillas y yesos del Terciario con fondos de valle cubiertos de conglomerados y gravas arenas del Cuaternario (IGME, 1989; CHE, 2008).

Morfológicamente la cuenca puede dividirse en tres tramos principales:

- De la cabecera hasta la cola del embalse de Mediano, el río transita por una zona de alta montaña, incluidas alturas de 3000 msnm, con profundos valles de origen glaciar y fuertes desniveles que posibilitan el aprovechamiento hidroeléctrico. Son cauces de tramos rectilíneos con abundantes pozas y saltos.
- De la cola del embalse de Mediano hasta el río Ésera pasa por una zona agreste de media montaña encajonado entre sierras que no superan los 1400 msnm. Por su morfología, este tramo del río ha sido muy embalsado.
- Entre las desembocaduras del Ésera y el Segre, con un cauce de tipo anastomosado, el Cinca circula por una zona de perfil plano con terrenos suaves y paisajes muy modificados por el hombre con cultivos de

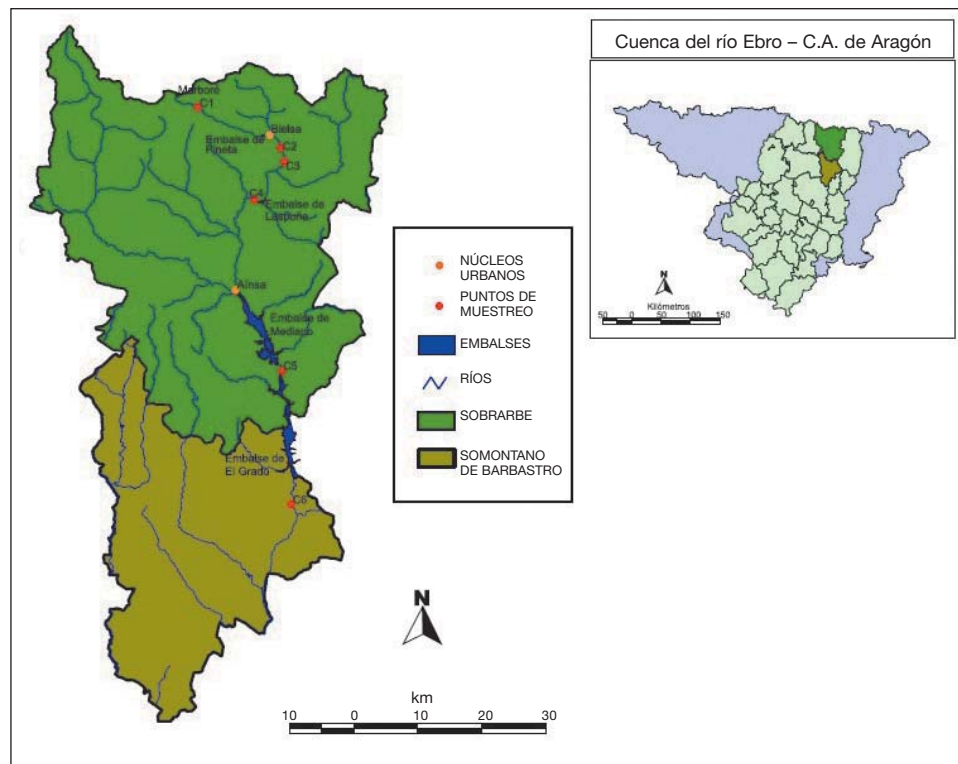
regadío y asentamientos importantes de población como Barbastro, Monzón y Fraga.

Dadas estas características, el clima de la cuenca presenta grandes contrastes en el espacio y en el tiempo, cambiando sus características oceánicas en sentido norte a sur y oeste a este para adquirir rasgos mediterráneo-montanos con tendencia continental (PEDROCCHI-RENAULT, 1987; LÓPEZ MORENO y GARCÍA-RUIZ, 2003). Este supone un descenso de la precipitación desde los 1500 milímetros en Bielsa a los 400 milímetros de Mequinenza. Simultáneamente, la temperatura asciende de norte a sur desde el ambiente glaciar de su cabecera a las secas estepas monegrinas de la zona llana.

Por ello, la cabecera responde a un comportamiento de tipo pluvionival, que evoluciona a mediterráneo en la zona baja. Es un régimen estacional con caudales muy bajos en invierno por retención de nieve en la cabecera con los mayores caudales desde abril a julio (el mayenco) con valores mensuales cercanos a los 400 hm<sup>3</sup>/mes y mínimos en agosto con un caudal aproximado de 120 hm<sup>3</sup>/mes (GARCÍA-RUIZ, 1977; CHE, 2008). Aporta una media de 2896 hm<sup>3</sup> de agua al año (CHE, 2002b). Su régimen natural ha sido modificado por acción humana. En la propia cabecera se encuentra represado el ibón de Marboré (acabado hacia 1938, 1 hm<sup>3</sup> de capacidad). Aguas abajo, los embalses de Pineta (1920, 0,2 hm<sup>3</sup>) y Plandescún (Cinqueta, 1934, 1 hm<sup>3</sup>) abastecen a la central de Lafortunada. A su pie, está el embalse de Laspuña (1965, 0,35 hm<sup>3</sup>) que alimenta la central del mismo nombre. Aguas abajo de Aínsa se encuentra el embalse de Mediano (1952, 436 hm<sup>3</sup>) encadenado al embalse de El Grado (1969, 399 hm<sup>3</sup>). En este tiene origen el canal del Cinca que forma parte del sistema de Riegos del Alto Aragón. También se aprovecha para producir energía eléctrica en las denominadas centrales de *El Grado I* y *El Grado II* (CHE, 2002a). A partir de este embalse, el caudal pasante es captado por la piscifactoría de El Grado y diversos azudes hidroeléctricos (Arias I, Arias II, El Ciego, Ariéstolas) y de riego (Ribera de Monzón). El caudal vuelve a aumentar en el tramo final con los retornos de los regadíos (CHE, 2008).

### *Puntos de muestreo*

La zona de estudio comprende el tramo del río que va desde el Parador Nacional de Turismo de Bielsa (en el valle de Pineta) hasta pasado el

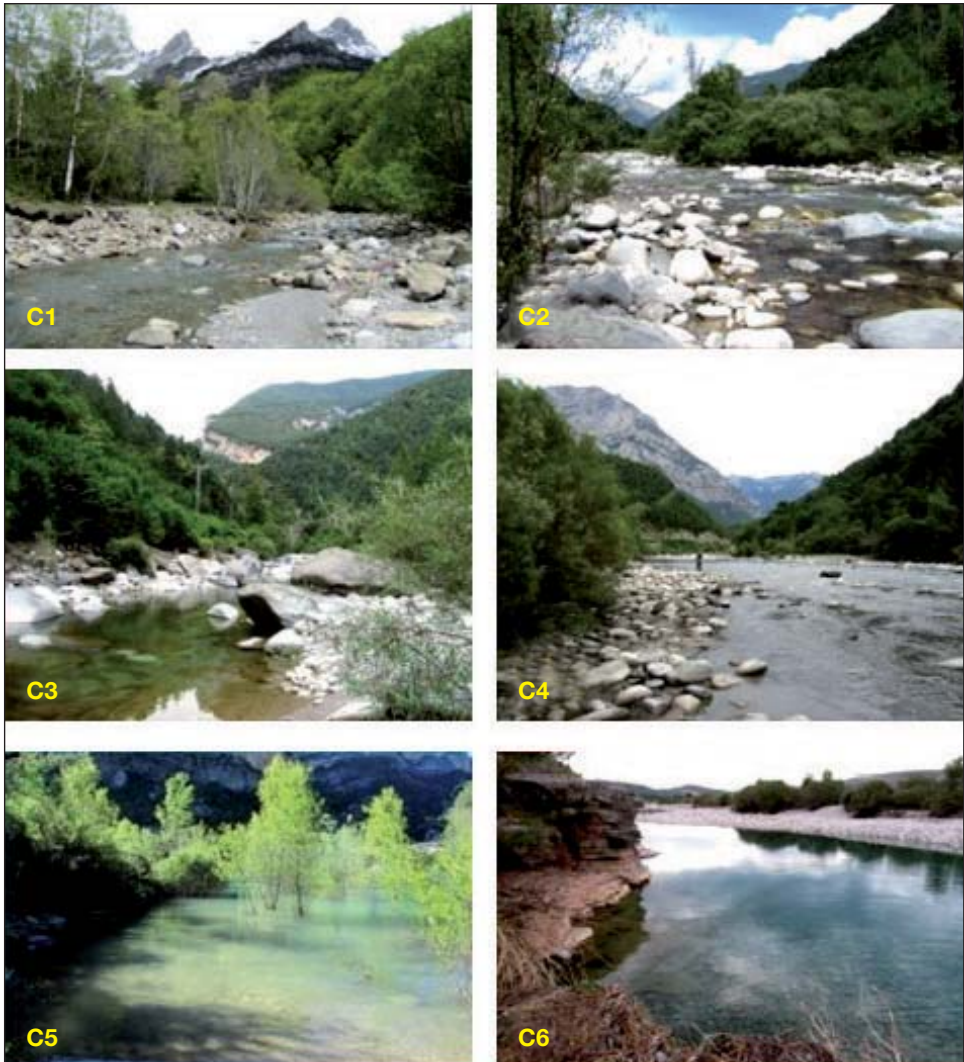


**Fig. 1.** Mapa de situación del tramo estudiado en el río Cinca, en las comarcas de Sobrarbe y Somontano de Barbastro. Localización de los puntos de muestreo (C1, Parador de Bielsa; C2, Pineta; C3, Salinas; C4, Laspuña; C5, Mediano; C6, El Grado).

embalse de El Grado (fig. 1). Es un tramo de 92 kilómetros situado en la provincia de Huesca dentro de las comarcas de Sobrarbe y Somontano de Barbastro. Algunas de las principales poblaciones que abarca este tramo son Bielsa, Lafortunada, Laspuña, Labuerda, Aínsa y El Grado.

Los puntos de muestreo se situaron tras un embalse o azud de acuerdo con el objetivo de observar el efecto que tienen los embalses sobre el río Cinca. La descripción se presenta a continuación y su ubicación en la tabla 1. Las imágenes de dichos puntos se muestran en la figura 2.

*C1. Parador de Bielsa.* Punto de control, situado en un área de alta montaña pirenaica, cerca del Parador Nacional de Turismo y en el límite del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. La existencia de un cercano



**Fig. 2.** Aspecto de los puntos de muestreo en diferentes estaciones del año.

C1, Parador Nacional de Turismo de Bielsa, *punto control* (primavera).

C2, Aguas abajo del embalse de Pineta (verano). C3, Punto de muestreo situado 2 kilómetros antes de Salinas bajo un azud (verano). C4, Punto de muestreo bajo el embalse de Laspuña (verano). C5, Bajo el embalse de Mediano y ya incluido en la cola de El Grado debido a la continuidad de ambos embalses (primavera).

C6, Aguas abajo de la presa del embalse de El Grado (verano).

vertido registrado perteneciente al Parador aconsejó realizar dos submuestras en cada muestreo, antes y después del vertido, para observar si había diferencias significativas. Estas muestras fueron denominadas y rotuladas como *C.1 Antes* y *C.1 Después*.

*C2. Pineta.* Situado aguas abajo del aterrado embalse de Pineta, en el amplio valle homónimo. Área de bosques y pastos.

*C3. Salinas.* Se encuentra aguas abajo del azud de 18,5 metros de altura, situado 2 kilómetros antes de la localidad de Salinas, que recoge agua para la central de San Marcial. Zona encajonada con un tramo fluvial rectilíneo con pozas y saltos. Área forestal, pero bajo la localidad de Bielsa.

*C4. Laspuña.* Situado aguas abajo del embalse con el mismo nombre donde el valle comienza a abrirse hacia la depresión de Aínsa. El uso forestal comienza a dar paso a cultivos.

*C5. Mediano.* Situado aguas abajo de esta presa, en la zona de influencia de la cola del embalse de El Grado. En esta zona, la cuenca presenta un mayor porcentaje de suelos agrícolas y ganaderos que conllevan un aporte de nitratos y otros nutrientes a las aguas.

*C6. El Grado.* Situado aguas abajo de este embalse. La explotación del embalse, deja un caudal mínimo insuficiente (no hay caudal de compensación oficial) que procede de los vertidos del aliviadero de fondo. En el embalse predomina el régimen lento-profundo. La densidad de peces es baja. El uso agrícola y ganadero va aumentando a medida que se desciende por la cuenca del Cinca, y aumentan el tamaño de los núcleos de población existentes. También hay importantes superficies de regadío, aguas abajo de El Grado con un mayor riesgo de contaminación por aporte de nutrientes al río.

**Tabla 1.** Coordenadas UTM ETRS89 Huso-31 de los puntos de muestreo en el río Cinca.

<i>Estación de muestreo</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Altitud (msnm)</i>
C.1 Parador de Bielsa	261 083	4 729 321	1283
C.2 Pineta	273 190	4 721 405	937
C.3 Salinas	273 461	4 719 992	906
C.4 Laspuña	268 309	4 714 182	676
C.5 Mediano	270 536	4 686 291	448
C.6 El Grado	270 935	4 665 857	346

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se llevaron a cabo cuatro muestreos en cada punto seleccionado, coincidiendo con las estaciones del año. Los muestreos de otoño e invierno se realizaron en dos días debido a la distancia entre puntos y las pocas horas de luz en estas épocas del año. Los muestreos de primavera y verano se realizaron en un solo día. El muestreo de otoño se llevó a cabo los días 25 y 26 de noviembre de 2012; el de invierno, los días 8 y 16 de marzo de 2013; el de primavera, el 24 de mayo de 2013, y el de verano, el 28 de julio de 2013.

### *Obtención de datos de caudal y parámetros fisicoquímicos*

En cada uno de los seis puntos de muestreo establecidos a lo largo del río, se determinaron *in situ* los parámetros: temperatura, pH, conductividad y concentración de oxígeno disuelto mediante una sonda multiparamétrica HQ30D (HACH-Lange, USA). Estas lecturas se realizaron siempre en tres zonas diferentes del mismo punto de muestreo, buscando la máxima representatividad. Los datos de caudal se obtuvieron del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) de la Confederación Hidrográfica del Ebro, en las estaciones de aforo de Escalona, Mediano y El Grado. A partir de ellos se calculó el caudal medio por año y por estación.

### *Muestreo y tratamiento de perifiton*

La recolección de muestras de perifiton para obtener la concentración de clorofila bentónica en cada punto se realizó según el protocolo de ELOSEGI y SABATER (2009). En primer lugar, en cada punto de muestreo se seleccionaron de dos a cinco piedras. Sobre estas se colocó una plantilla con una superficie interna de 25 cm<sup>2</sup> y se recogió todo el material de la roca arrastrándolo mediante un cepillo. Este material se introdujo en un vial de vidrio. El vial se rotuló y envolvió en papel de aluminio en total oscuridad y se guardó en una nevera hasta llegar al laboratorio. El mismo día del muestreo se filtraron las muestras de estos viales mediante un filtro Whatman GF/F, quedando el material contenido en el filtro. Posteriormente, estos filtros se introdujeron en un vial de vidrio con un contenido de 10-20 mililitros de acetona al 90% hasta cubrir totalmente la muestra para extraer la clorofila. Los viales se conservaron a una temperatura inferior a 4 °C en ausencia de luz, durante 24 horas. Una vez



transcurrido este tiempo, se filtró el extracto con un filtro Whatman GF/F para disminuir la turbidez y se midió la absorbancia con un espectrofotómetro a distintas longitudes de onda. Finalmente, las absorbancias se utilizaron para calcular la concentración de clorofila por unidad de área con las fórmulas de JEFFREY y HUMPHREY (1975). A partir de los datos de concentración de clorofila *a* en el bentos, se determinó la situación trófica del río Cinca siguiendo la clasificación de DODDS y cols. (1998), muy aceptada entre la comunidad científica.

### *Muestreo, tratamiento e identificación de macroinvertebrados*

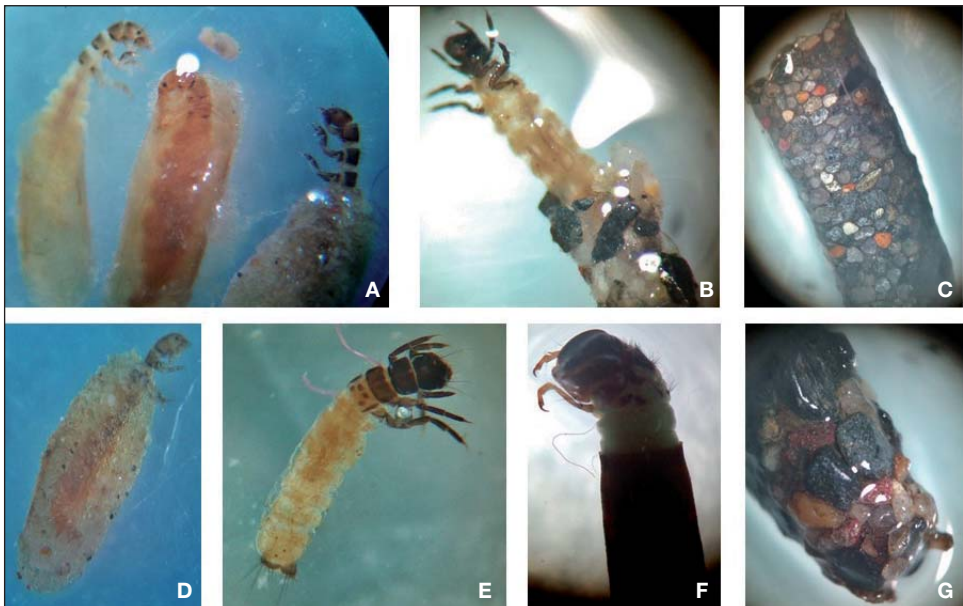
Para poder aplicar el índice IBMWP (Iberian Biological Monitoring Working Party) (ALBA-TERCEDOR y cols., 2002), en primer lugar, se seleccionaron los puntos de muestreo de manera que fuesen representativos de la masa de agua evitando zonas cuyo acceso entrañase riesgo. Se tomaron muestras en cada estación del año, método deseable para reflejar la temporalidad (ALBA-TERCEDOR y cols., 2005), desde noviembre de 2012 hasta julio de 2013, según los siguientes procedimientos.

En la recolección de las muestras de macroinvertebrados se utilizó una red de mano (o salabre) de superficie conocida ( $25 \times 25$  centímetros) y una red súrber de  $30 \times 30$  centímetros. Ambas con malla de  $500 \mu\text{m}$  de poro. Colocada la red de forma vertical y encarada a la corriente hasta tocar con el fondo, se removió el sustrato situado en el cuadrado de 0,5 metros anterior a la boca de la red con la mano y/o botas para que los macroinvertebrados fuesen arrastrados por la corriente hacia la red. Cada uno de los seis puntos de muestreo de otoño e invierno se realizó con una unidad de esfuerzo de 20 kicks (CHE, 2007) repartidos en tres zonas y con una duración de 2 minutos por kick. Sin embargo, en los sucesivos muestreos (primavera y verano) se creyó conveniente utilizar una unidad de esfuerzo menor (10 kicks) para posteriormente equiparar los resultados de manera que los datos fuesen comparables tras comprobar la alta cantidad de individuos que se recolectaron en los muestreos iniciales.

Los macroinvertebrados recolectados se conservaron inmediatamente después de la recolección en botes de plástico herméticos con ayuda de agua del propio río y conservante (alcohol al 70%, concentración final) para fijar las muestras y evitar así la interacción entre organismos (depredación, etcétera). Tras cada muestreo el material se desinfectó con lejía.



**Fig. 3.** Individuos del orden *Diptera* pertenecientes a las familias *Chironomidae* (A), *Athericidae* (B), *Stratiomyidae* (C). Detalle de los pelos hidrófugos del extremo anal de *Stratiomyidae* (D). Imágenes tomadas a través de lupa binocular en el laboratorio.



**Fig. 4.** Distintas familias del orden *Trichoptera* con diferentes tipos de estuche: de seda (A y D), de restos vegetales (F) o de arena (B). Detalle de tricóptero fuera de su estuche (E) y de dos estuches hechos con distinto tamaño de partícula mineral (C y G).

Imágenes tomadas a través de lupa binocular en el laboratorio.

Una vez en el laboratorio, se guardaron las muestras debidamente etiquetadas en la nevera para una mejor conservación. Después, se procedió a la limpieza de todas ellas. En primer lugar, se retiraron las piedras, hojas y ramas más grandes para facilitar la posterior recolección de individuos. De esta forma, se fueron seleccionando todos los macroinvertebrados y se traspasaron a viales pequeños de vidrio con alcohol (96%) para que se mantuviesen bien conservados hasta su identificación. Por último, se contaron e identificaron todos los macroinvertebrados hasta nivel taxonómico de familia (que es el exigido por el IBMWP) con la ayuda de una lupa binocular (fig. 3 y fig. 4) y el apoyo de manuales de taxonomía, como la guía de macroinvertebrados de la Cuenca Hidrográfica del Ebro (OSCOZ y cols., 2011), la guía de campo derivada de la misma (OSCOZ, 2012) y el texto de TACHET y cols. (2000).

### *Cálculo de índices biológicos*

Para determinar el estado ecológico del río Cinca se utilizó el índice IBMWP. Este es el adoptado como métrica de seguimiento biológico por la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) y el Ministerio de Medio Ambiente para cumplir con las exigencias de la Directiva 2000/60/CE de la Unión Europea (Directiva Marco del Agua, DMA) que requieren la identificación de los elementos de calidad biológica, parámetros y métricas que permitan establecer el estado ecológico. El IBMWP consiste en un muestreo que incluye todas las familias de macroinvertebrados que habitan en el tramo de estudio.

La calificación final de cada punto de muestreo se obtuvo de la suma de la puntuación de todas las familias presentes en dicho punto, ya que a cada familia se le adjudica una puntuación en función de la tolerancia que tengan a las aguas de menor calidad. Posteriormente, se adaptó el valor del IBMWP en función del ecotipo de río al que pertenece cada tramo del río Cinca. También se determinó la diversidad de Shannon-Weaver (1963), la riqueza taxonómica de Margalef (1995), la equidad de Pielou (1975) y la estrategia trófica de cada familia de macroinvertebrado según TACHET y cols. (2000).

Además, se calculó la abundancia de EPT (*Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Trichoptera*) y la abundancia de *Chironomidae* y *Oligochaeta*. El grupo EPT (con puntuaciones IBMWP en torno a 10) está considerado como un buen indicador de contaminación y de las alteraciones del hábitat (SEGNINI, 2003;

ALBA-TERCEDOR y cols., 2005; TORRALBA BURRIAL y OCHARAN, 2007; KORTE y cols., 2010). Por contra, tanto los quironómidos como los oligoquetos son, en general, grupos muy tolerantes a la contaminación por materia orgánica (ALONSO y CAMARGO, 2005) y en el índice IBMWP se les otorga un valor de 2 y 1, respectivamente.

### *Metodología estadística*

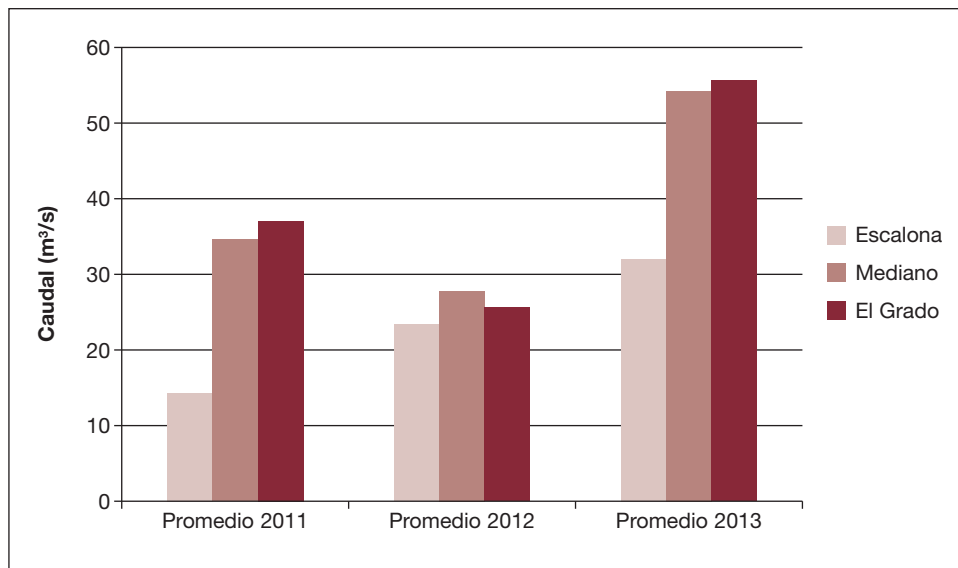
Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa estadístico R (versión R 2.12.2) y los paquetes R Commander y ade4. Se realizó un test Shapiro-Wilk y un test de Levene para contrastar, respectivamente, la normalidad y la homogeneidad de varianzas de las variables incluidas en el estudio: conductividad, oxígeno disuelto, pH, temperatura, clorofila *a*, abundancia, índice IBMWP, diversidad de Shannon, riqueza taxonómica y equidad de Pielou. Se realizó un test ANOVA para evaluar la diferencia de las medias en función de los factores *estación* y *punto de muestreo*. Además, se llevó a cabo una comparación por pares mediante el test *t* para muestras relacionadas con el objetivo de determinar posibles agrupaciones entre las categorías de cada factor.

Finalmente, para analizar la composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados en las muestras, se realizó un análisis de componentes principales (PCA). Para llevar a cabo este análisis, previamente se centró la matriz de abundancia de familias por muestra y familia.

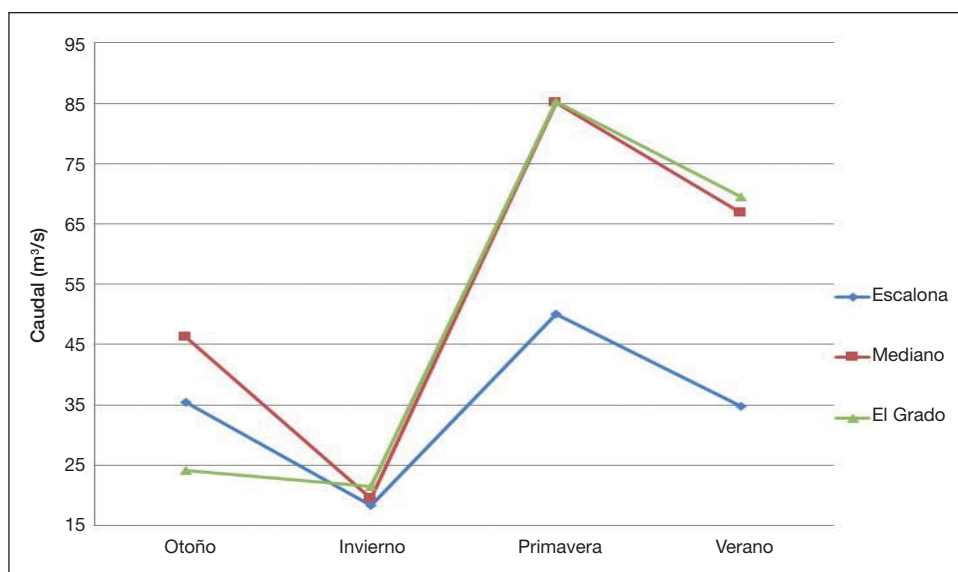
## RESULTADOS

### *Caudal y parámetros fisicoquímicos*

Al comparar el promedio de caudal del río Cinca en 2013 con los dos años anteriores para cada una de las tres estaciones de aforo de las que se disponían datos (Escalona, Mediano y El Grado), quedó reflejado un caudal notoriamente mayor en 2013 frente a los dos años anteriores (fig. 5). Y puesto que el estudio se realizó en el periodo de 2013, se analizaron con mayor detalle los datos de caudal promedio en este periodo (fig. 6). En este segundo gráfico se puede ver cómo el caudal a su paso por los dos grandes embalses, Mediano y El Grado, fue similar durante todo el año, registrándose una mayor diferencia entre ambos en otoño. En líneas generales, se pudo



**Fig. 5.** Caudal promedio por año y estación de aforo.



**Fig. 6.** Caudal medio medido durante el periodo de estudio (año 2013) en las diferentes estaciones de aforo para cada estación del año.

Elaboración a partir de datos del SAIH (Sistema Automático de Información Hidrológica) de la Confederación Hidrográfica del Ebro.

observar un caudal mínimo en invierno y máximo en primavera, tal y como cabría esperar del régimen natural del río. Sin embargo, el caudal de verano fue menor que el de otoño, al contrario de lo esperable por la dinámica estacional del río.

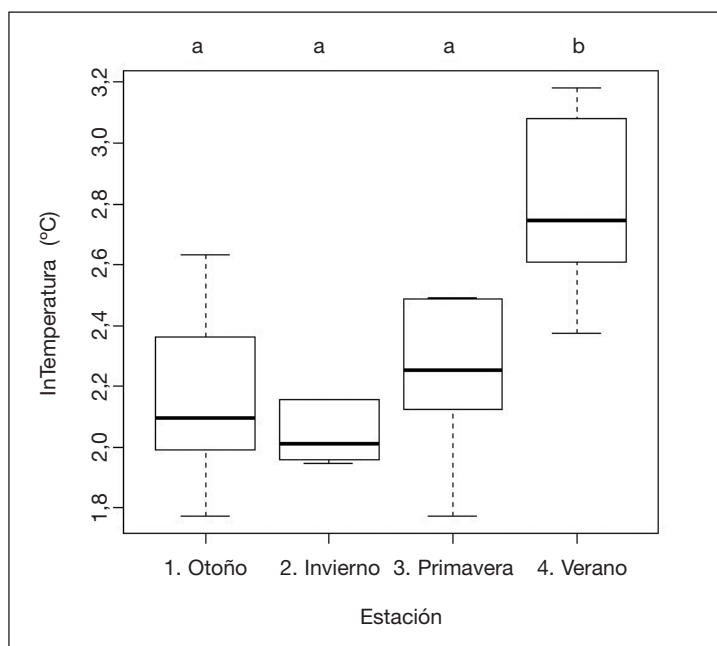
El resto de parámetros fisicoquímicos se han recogido en la tabla II, que da una visión general y simplificada de la comparación de los datos obtenidos en los diferentes puntos de muestreo a lo largo de todo el año.

**Tabla II.** Valor medio de los parámetros fisicoquímicos observado en los seis puntos de muestreo del río Cinca a lo largo del año.

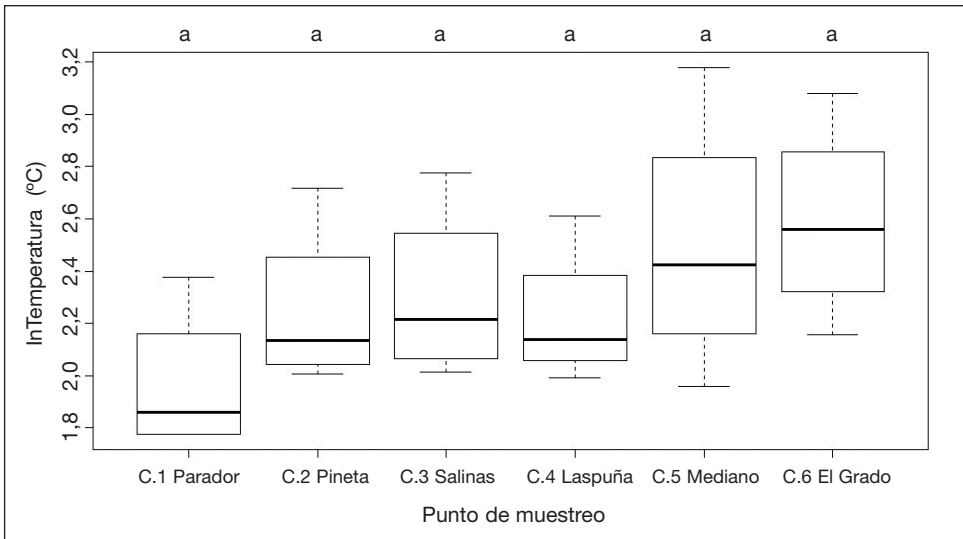
<i>Estación</i>	<i>Punto de muestreo</i>	<i>Temp. (°C)</i>	<i>Conductividad (µs/cm)</i>	<i>O<sub>2</sub> disuelto (mg/l)</i>	<i>pH</i>
Otoño	C.1 Parador	5,9	202	12,5	
	C.2 Pineta	8,0	291	12,4	
	C.3 Salinas	8,3	298	11,9	
	C.4 Laspuña	7,3	257	12,7	
	C.5 Mediano	10,6	266	11,3	
	C.6 El Grado	13,9	522	10,0	
Invierno	C.1 Parador	7,0	201	10,2	8,3
	C.2 Pineta	7,4	163	10,5	8,3
	C.3 Salinas	7,5	178	10,5	8,2
	C.4 Laspuña	8,6	402	10,6	8,6
	C.5 Mediano	7,1	330	11,6	8,3
	C.6 El Grado	8,6	301	11,8	8,3
Primavera	C.1 Parador	5,9	179	10,6	8,7
	C.2 Pineta	8,9	255	10,6	8,7
	C.3 Salinas	10,1	261	10,1	8,7
	C.4 Laspuña	8,4	201	11,0	8,7
	C.5 Mediano	12,0	292	10,4	8,5
	C.6 El Grado	12,0	341	10,2	8,5
Verano	C.1 Parador	10,8	105	9,4	8,1
	C.2 Pineta	15,0	254	9,4	8,8
	C.3 Salinas	16,0	256	9,3	8,9
	C.4 Laspuña	13,6	190	9,8	8,5
	C.5 Mediano	24,0	268	8,8	8,8
	C.6 El Grado	21,7	436	7,7	8,0

La temperatura en el río Cinca tuvo un rango entre 10 °C y 24 °C en verano, con mayores oscilaciones en los embalse de Mediano y El Grado, y de 6 °C a 14 °C el resto del año. En el análisis estadístico efectuado, se comprobó que existían diferencias significativas de temperatura entre las diferentes estaciones del año ( $p < 0,001$ ), siendo en verano cuando mayor temperatura se registró (fig. 7). Además, la tendencia general de este parámetro fue a ir aumentando conforme se descendía en el río; así, se observaron diferencias significativas entre puntos de muestreo ( $p < 0,001$ ) siguiendo un patrón altitudinal (fig. 8).

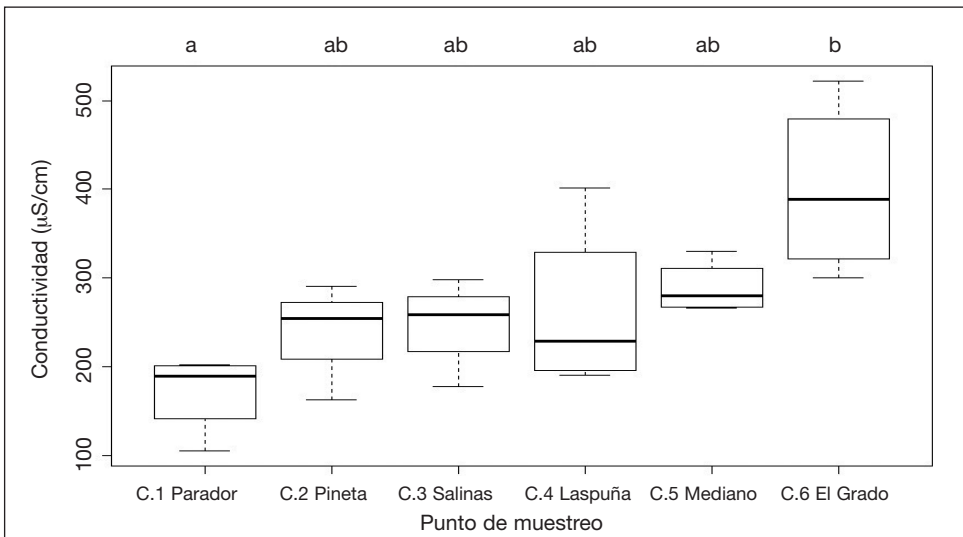
La conductividad en el tramo estudiado osciló entre 100 y 520  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a lo largo del año, sin que se observasen diferencias significativas entre las diferentes estaciones. En el embalse de El Grado esta variable se mantuvo todo el año entre 300 y 520  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y fue más elevada en otoño. Se observó



**Fig. 7.** Diagramas de caja de la temperatura en las diferentes estaciones del año. Datos transformados a logaritmo neperiano. Test ANOVA ( $F = 30,11$ ; g. l. = 3;  $p = 1,36 \times 10^{-6}$ ). La comparación por pares mediante el test  $t$  para muestras relacionadas queda representada en el gráfico mediante letras.



**Fig. 8.** Diagramas de caja de la temperatura en los diferentes puntos de muestreo. Datos transformados a logaritmo neperiano. Test ANOVA ( $F = 8,76$ ; g. l. = 5;  $p = 0,00047$ ).



**Fig. 9.** Diagramas de caja de la variable conductividad para los diferentes puntos de muestreo. Test ANOVA ( $F = 4,73$ ; g. l. = 5;  $p = 0,00858$ ).

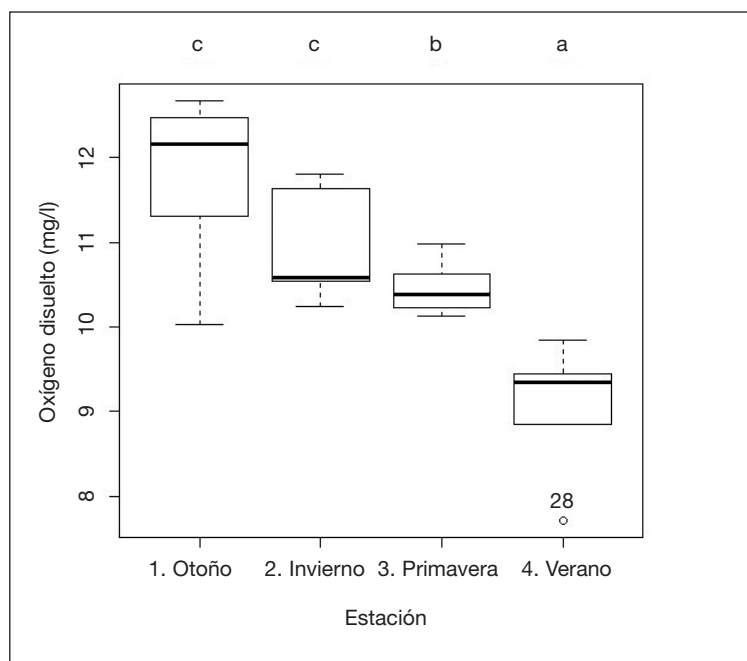
La comparación por pares mediante el test  $t$  para muestras relacionadas queda representada en el gráfico mediante letras.



un aumento de la conductividad río abajo que se tradujo en diferencias significativas entre los diferentes puntos de muestreo ( $p < 0,01$ ; fig. 9).

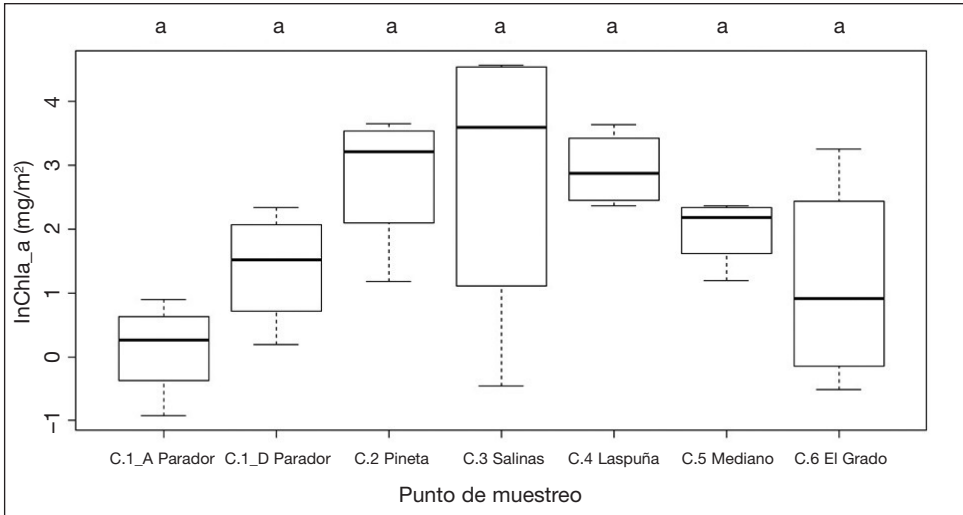
La alta variabilidad de la concentración de oxígeno no permitió detectar diferencias significativas entre puntos de muestreo a pesar de que la concentración disminuyó en los dos últimos puntos correspondientes al embalse de Mediano y El Grado. Por el contrario, sí se observaron diferencias significativas entre estaciones del año ( $p < 0,001$ ). La relación inversa entre el oxígeno disuelto y la temperatura se observó claramente a lo largo del ciclo anual: a mayor temperatura, menor contenido en oxígeno. Por ello, la estación del año que registró menor concentración de oxígeno en agua fue el verano (fig. 10).

El pH en el río Cinca tomó valores en torno a 8-8,9, sin variaciones significativas a lo largo del espacio ni del tiempo.

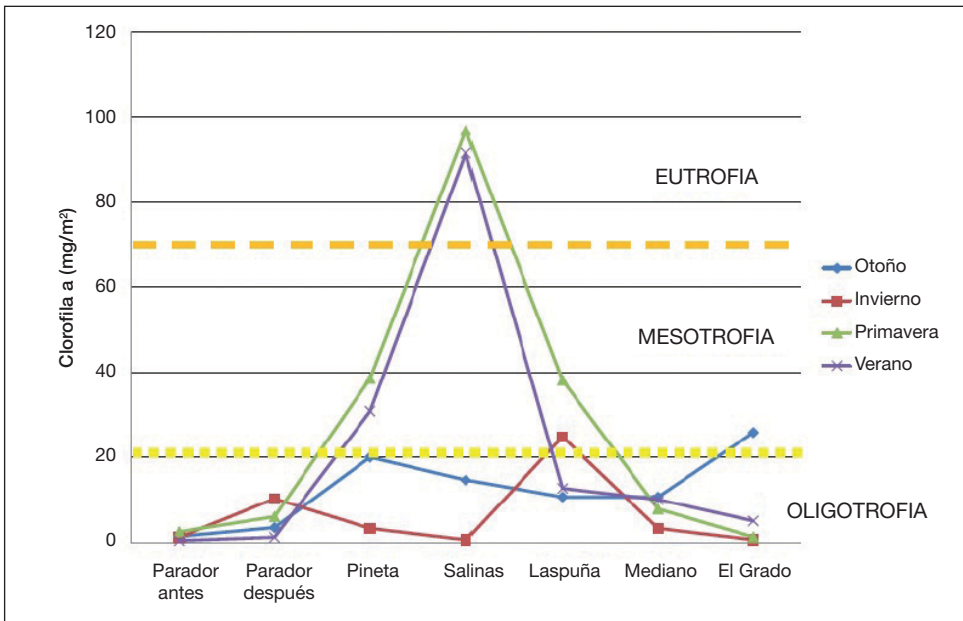


**Fig. 10.** Diagramas de caja de la variable oxígeno disuelto en las diferentes estaciones del año. Test ANOVA ( $F = 14,85$ ; g. l. = 3;  $p = 2,56 \cdot 10^{-5}$ ).

La comparación por pares mediante el test  $t$  para muestras relacionadas queda representada en el gráfico mediante letras.



**Fig. 11.** Diagramas de caja de la clorofila *a* en los diferentes puntos de muestreo. Datos transformados a logaritmo neperiano. Test ANOVA ( $F = 2,99$ ; g. l. = 6;  $p = 0,033$ ). La comparación por pares mediante el test *t* para muestras relacionadas queda representada en el gráfico mediante letras.



**Fig. 12.** Clorofila *a* en las distintas estaciones del año (2012-2013) y puntos de muestreo.

### *Estado trófico del río según la cantidad de clorofila bentónica*

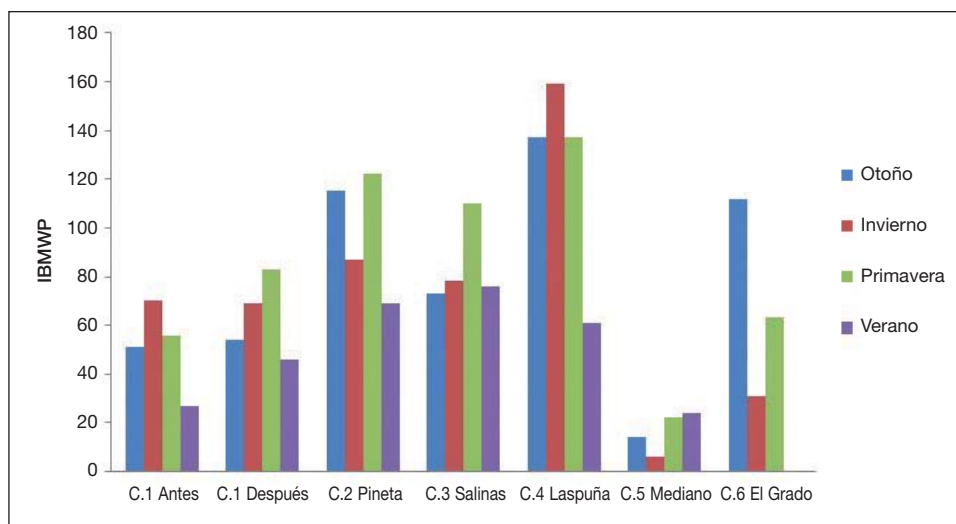
La concentración de clorofila *a* sí mostró diferencias significativas entre los diferentes puntos de muestreo (fig. 11). Se produjo un aumento de la misma en el tramo central del río ( $p < 0,05$ ).

De acuerdo con la clasificación de DODDS y cols. (1998) se elaboró un gráfico (fig. 12) de la situación del río Cinca en cuanto a la concentración de clorofila *a* en las cuatro estaciones del año durante el periodo estudiado. Se observa claramente un pico de concentración de clorofila en el tramo central del río (C.3 Salinas) durante la primavera y verano, aunque la alta variabilidad de esta variable no permitió detectar diferencias significativas entre estaciones.

### *Índices biológicos*

#### IBMWP (Iberian Biological Monitoring Working Party)

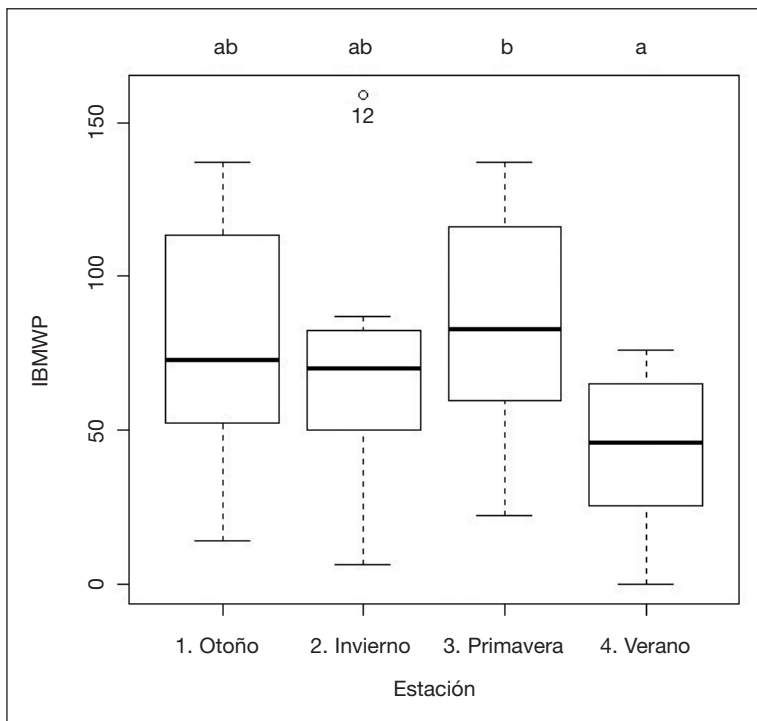
El índice biótico IBMWP obtuvo unos valores más altos en los puntos de Pineta y Laspuña (fig. 13), en los que en al menos dos de los cuatro muestreos se registraron valores superiores a 100, lo cual indica un estado



**Fig. 13.** Índice IBMWP en los distintos puntos de muestreo y estaciones del año en el río Cinca.

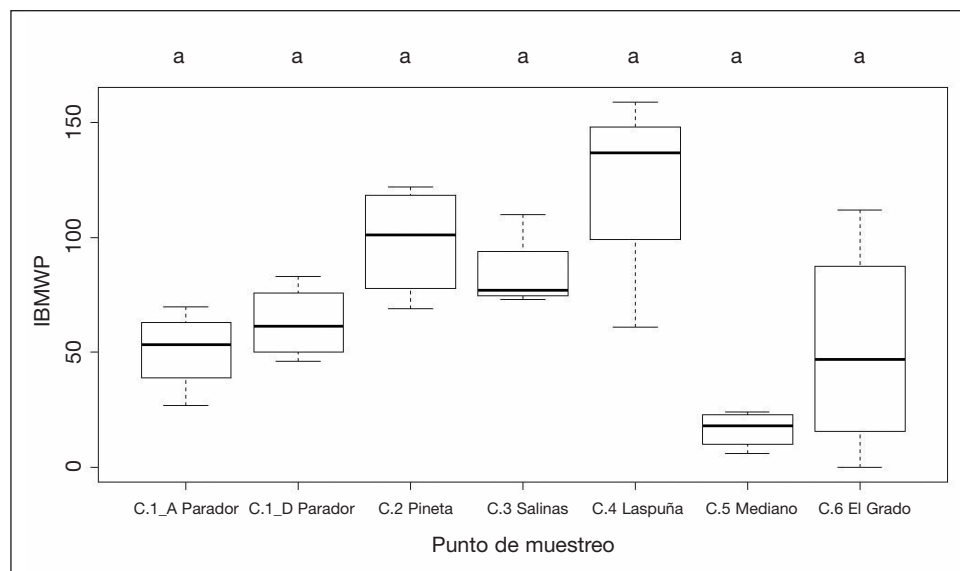
ecológico de las aguas *Muy bueno*. Por el contrario, la peor calidad se obtuvo en el embalse de Mediano, con los valores más bajos de IBMWP (entre 6 y 22), y en El Grado durante la estación de verano, en que el índice obtuvo valor 0 debido a que en el muestreo no se recolectó ningún individuo.

Se observaron diferencias significativas estacionales ( $p < 0,05$ ) en cuanto al valor obtenido del índice IBMWP (fig. 14). Fue en verano cuando se obtuvieron los valores de IBMWP menores y la primavera registró los valores de calidad ecológica. También se dieron diferencias significativas entre puntos de muestreo (fig. 15;  $p < 0,001$ ). Los dos puntos de muestreo con mayores diferencias según el test  $t$  son Laspuña y Mediano, que corresponden a los puntos que mayor y menor puntuación de calidad ecológica obtuvieron respectivamente. La tendencia del índice IBMWP



**Fig. 14.** Diagramas de caja del índice IBMWP en las diferentes estaciones del año.

Test ANOVA ( $F = 4,31$  g. l. = 3;  $p = 0,019$ ). La comparación por pares mediante el test  $t$  para muestras relacionadas queda representada en el gráfico mediante letras.

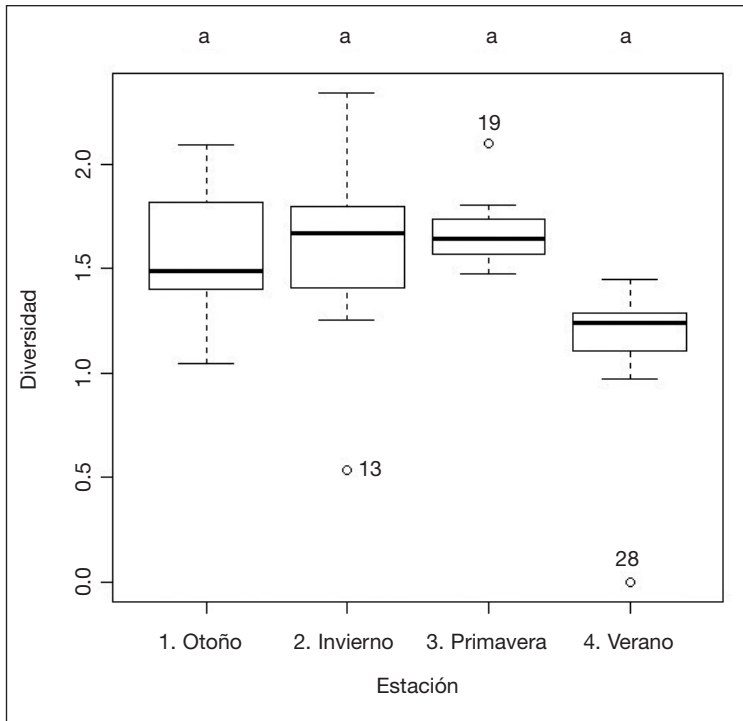


**Fig. 15.** Diagramas de caja del índice IBMWP en los diferentes puntos de muestreo. Test ANOVA ( $F = 9,02$ ; g. l. = 6;  $p = 0,00047$ ). La comparación por pares mediante el test  $t$  para muestras relacionadas queda representada en el gráfico mediante letras.

fue a ir aumentando desde la cabecera hasta Laspuña. A partir de este punto y hasta el embalse de Mediano, el índice IBMWP cae a los valores mínimos recuperándose levemente tras El Grado, en mayor o menor medida en función de la estación del año.

#### Diversidad de Shannon-Weaver

En la figura 16 se observan las diferencias significativas existentes entre las diferentes estaciones del año ( $p < 0,05$ ), de las que el verano fue la de menor diversidad en el río Cinca. Además, aunque los estadísticos no mostraron diferencias importantes entre los puntos de muestreo, se puede añadir que la mayor diversidad de familias se encontró en Laspuña durante invierno y primavera, seguidos de la diversidad en El Grado en otoño. Y que la diversidad en el punto C.1 al analizarla en su conjunto (C.1, antes y después de la tubería del Parador) obtuvo una elevada diversidad también (sobre todo en primavera), similar a los puntos de Laspuña y El Grado (datos no mostrados).



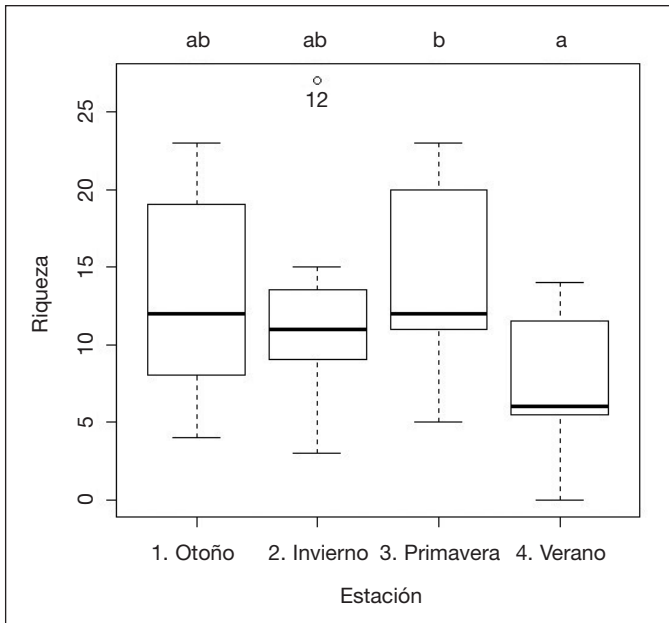
**Fig. 16.** Diagrama de caja del índice de diversidad de Shannon-Weaver en las diferentes estaciones del año. Test ANOVA ( $F = 3,28$ ; g. l. = 3;  $p = 0,045$ ). La comparación por pares mediante el test  $t$  para muestras relacionadas queda representada en el gráfico mediante letras.

### Riqueza taxonómica

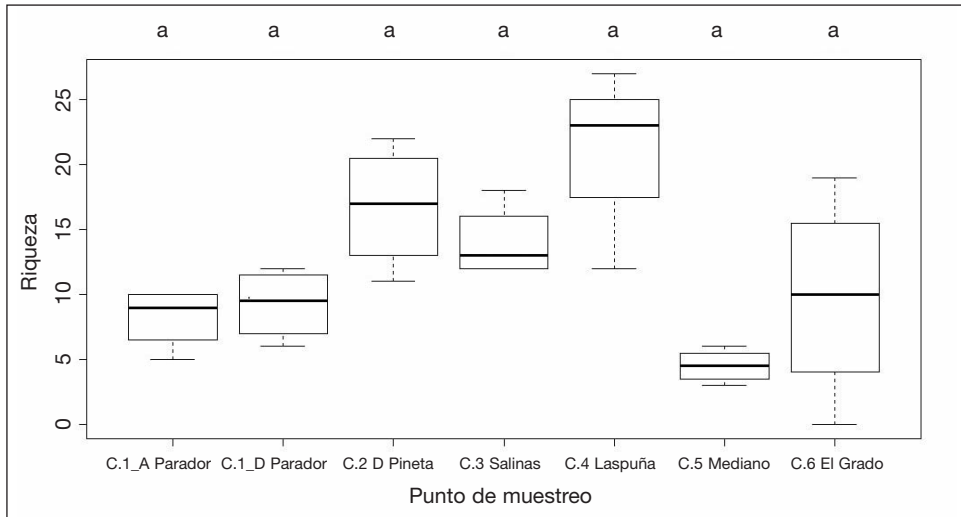
Los resultados estadísticos mostraron diferencias significativas entre estaciones del año ( $p < 0,05$ ), y la mayor diferencia de riqueza taxonómica se dio entre primavera y verano (fig. 17), aunque las diferencias también fueron significativas entre puntos de muestreo ( $p < 0,001$ ). La figura 18 muestra que los que tienen una mayor riqueza son los puntos situados en el tramo medio: Pineta, Salinas y Laspuña.

### Equidad de Pielou

El punto del río Cinca que presenta mayor equidad es Mediano (valores de 0,9 tanto en otoño como en primavera). Por ello, este es el punto donde



**Fig. 17.** Diagramas de caja de la riqueza taxonómica en las diferentes estaciones del año. Test ANOVA ( $F = 4,25$ ; g. l. = 3;  $p = 0,019$ ). La comparación por pares mediante el test  $t$  para muestras relacionadas queda representada en el gráfico mediante letras.



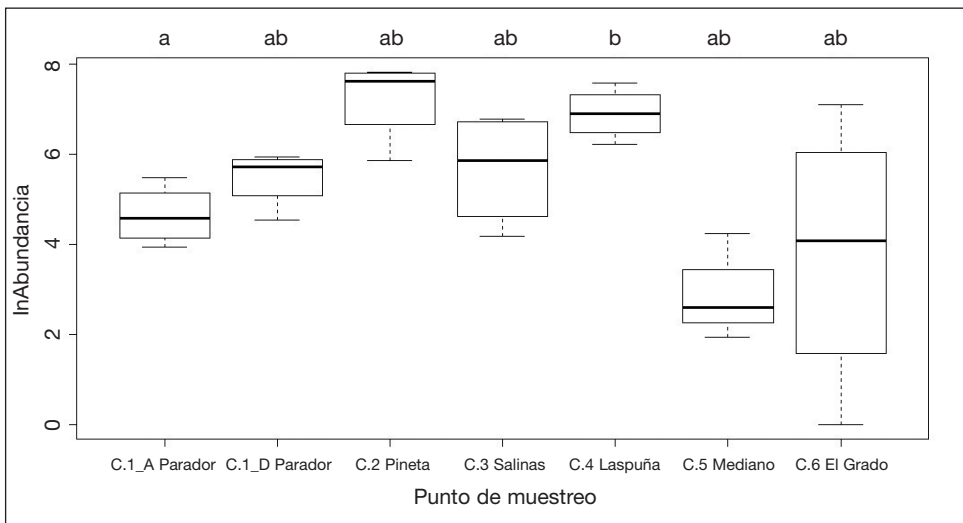
**Fig. 18.** Diagramas de caja de la riqueza taxonómica en los diferentes puntos de muestreo. Test ANOVA ( $F = 8,87$ ; g. l. = 6;  $p = 0,00014$ ). La comparación por pares mediante el test  $t$  para muestras relacionadas queda representada en el gráfico mediante letras.

la abundancia de cada familia de macroinvertebrados fue más equitativa. No se observaron diferencias significativas en el tiempo ni en el espacio para este índice.

*Descripción general de la comunidad de macroinvertebrados: abundancia, composición y estructura*

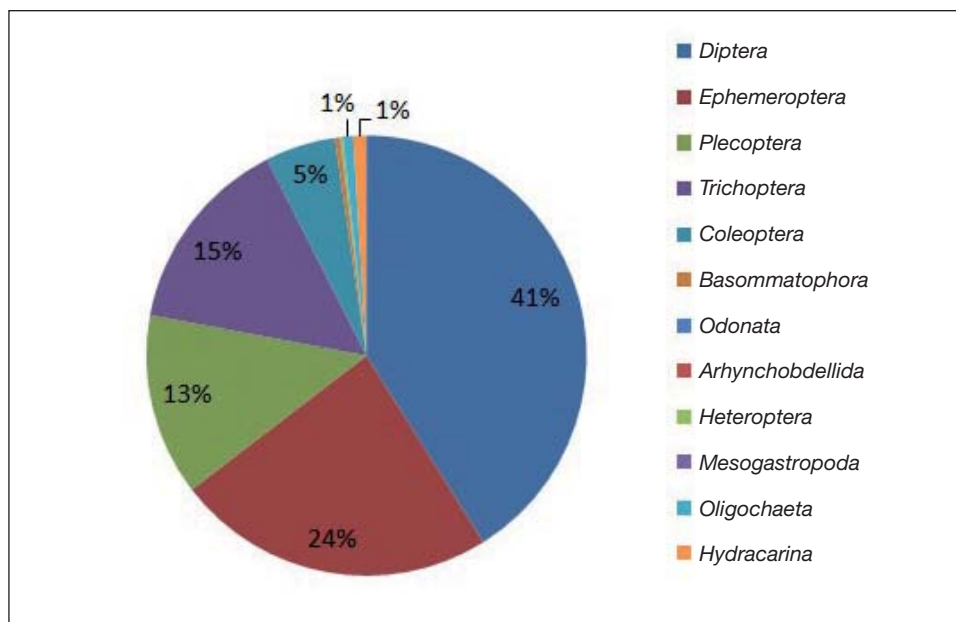
Se analizó la abundancia de igual forma que los índices biológicos anteriores y se obtuvieron diferencias significativas entre los puntos de muestreo, encontrando mayor abundancia de individuos en el tramo central del río. Los resultados indican un mayor número de individuos recolectados en el punto de Pineta (fig. 19;  $p < 0,01$ ) y el menor en el embalse de Mediano. No se observaron diferencias estacionales de la abundancia.

El número total de individuos recolectados a lo largo de 2013 en los cuatro muestreos fue de 16 443 individuos, agrupados en 3 *Phylum* (*Annelida*, *Mollusca* y *Arthropoda*), 12 órdenes y 51 familias distintas. Los órdenes con mayor riqueza son *Trichoptera* (11 familias) y *Diptera* (10 familias),



**Fig. 19.** Diagrama de caja del parámetro de abundancia en los diferentes puntos de muestreo. Datos transformados a logaritmo neperiano. Test ANOVA ( $F = 5,38$ ; g. l. = 6;  $p = 0,002$ ). La comparación por pares mediante el test  $t$  para muestras relacionadas queda representada en el gráfico mediante letras.





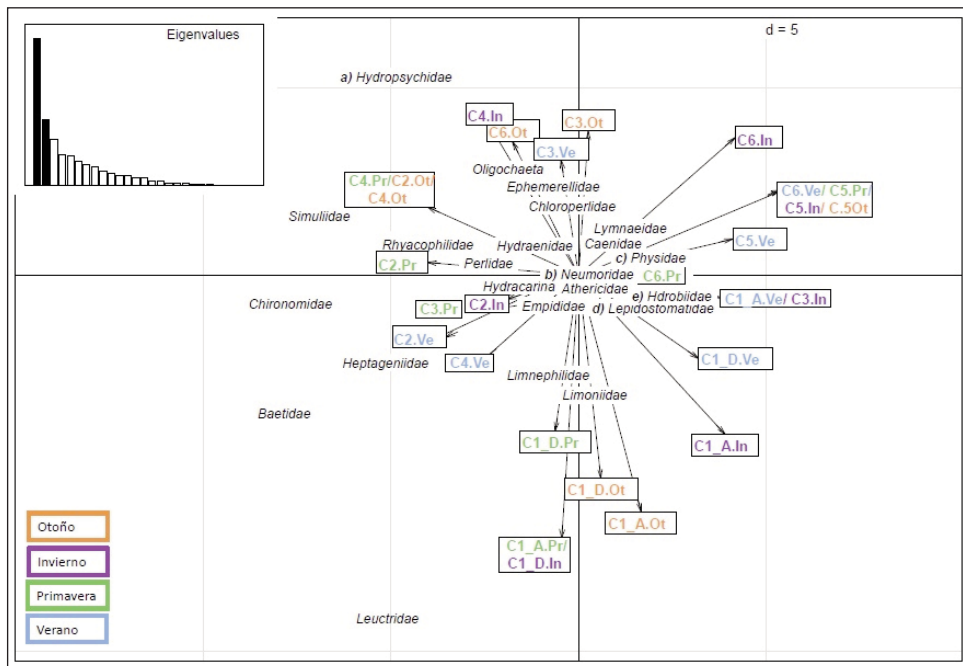
**Fig. 20.** Abundancia de los órdenes de macroinvertebrados recolectados a lo largo de todo el año en el río Cinca. Los órdenes *Basommatophora*, *Odonata*, *Arhynchobdellida*, *Heteroptera* y *Mesogastropoda* representan menos del 1% del total.

seguidos de *Ephemeroptera* y *Coleoptera* (ambos, 8 familias), *Plecoptera* (5 familias) y *Basommatophora* (4 familias). El resto de órdenes tan solo están representados por una familia en el tramo de río estudiado. El orden *Diptera* es el más abundante: representa el 41% del total de individuos recolectados (fig. 20).

Para ver cómo se distribuyen las familias en los diferentes puntos de muestreo y en cada estación del año, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) (fig. 21), que ha sido modificado para que los resultados fuesen más visuales y para permitir ver todas las familias de macroinvertebrados que contiene, ya que algunas de ellas se encontraban superpuestas y ello impedía su lectura. Dichas familias han sido nombradas al pie de la figura para conocer el lugar exacto que ocupan en el gráfico.

Los dos primeros ejes del gráfico explican el 45% de la varianza. El primer eje explica el 30,9% de la varianza. Este primer eje muestra una distribución de las muestras según la época del año, estando la mayoría de

muestras de invierno y verano en la parte positiva del eje. Y las muestras de otoño y primavera se encuentran en la parte negativa del eje coincidiendo con una mayor presencia de *Chironomidae* y *Simuliidae*. El segundo eje explica el 14,1% de la varianza, y en él se distribuyen los datos de los puntos de muestreo en función de su situación a lo largo del río. En la parte positiva del eje se encuentra la mayoría de los puntos de muestreo pertenecientes a los tramos medio y bajo del río. Además, en la parte positiva de este eje están situadas, entre otras, las familias *Hydropsychidae*, *Elmidae*, *Simuliidae*, *Oligochaeta*, *Ephemereleididae* y *Chloroperlidae*. Las familias *Neumoridae* y

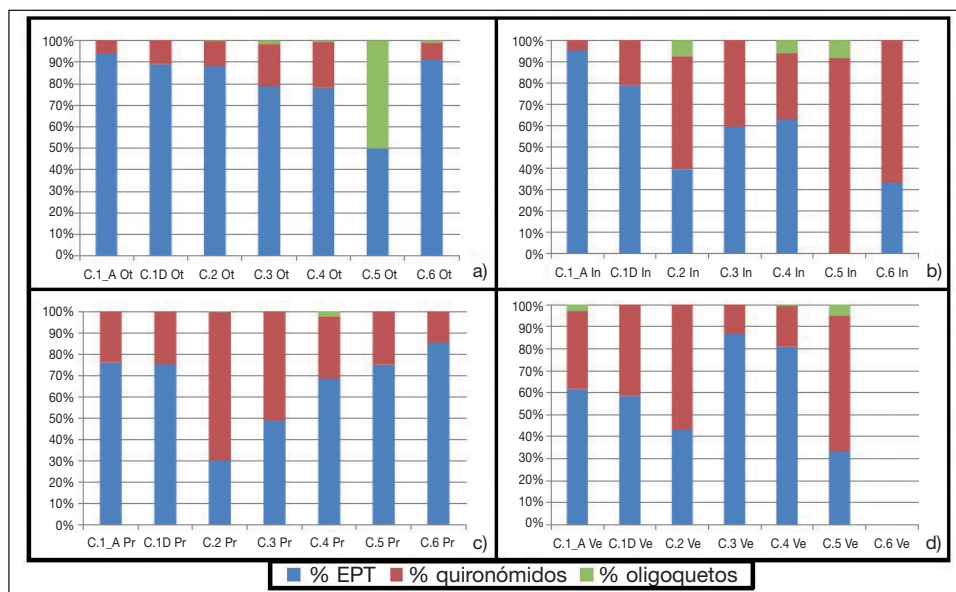


**Fig. 21.** Análisis de componentes principales (PCA) de la abundancia de familias en relación con los puntos de muestreo y las estaciones del año. Se ha modificado la gráfica para facilitar la lectura, ya que las familias que se citan a continuación estaban superpuestas con las que aparecen en el gráfico con la misma letra: a) *Elmidae*; b) *Perlodidae*; c) *Philopotamidae*, *Ceratopogonidae*, *Tabanidae*, *Dystiscidae*, *Stratiomyidae*, *Corixidae*; d) *Tipulidae*, *Hygrobiiidae*; e) *Hirudinidae*, *Planorbidae*, *Sericostomatidae*, *Leptoceridae*, *Ancycidae*, *Hydroptilidae*, *Polycentropodidae*, *Psychomiidae*, *Gomphidae*, *Polymitarcidae*, *Leptohbleiidae*, *Curculionidae*, *Brachycentridae*, *Blephariceridae*, *Hydrophilidae*, *Gyrinidae*, *Scirtidae*, *Siphonuridae*. Valores propios (eje 1 = 8,659; eje 2 = 3,933).

*Perlodidae* se encuentran justo en el centro del eje. Y en la parte negativa predominan las familias *Leuctridae*, *Baetidae*, *Limonidae*, *Limnephilidae*, *Heptageniidae* y *Chironomidae*, en coincidencia con los puntos de muestreo situados en la cabecera del río (incluyendo la totalidad de muestras del punto C.1 en el Parador Nacional de Bielsa).

Para obtener una mayor información de la situación en la que se encuentra el río Cinca en cuanto a composición taxonómica, se calculó la abundancia de EPT (*Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Trichoptera*) y la abundancia de *Chironomidae* y *Oligochaeta* en porcentaje (fig. 22). Los resultados muestran que taxones EPT tienden a disminuir desde la cabecera del río Cinca hasta el tramo final de muestreo, con ciertos tramos en los que se produce una recuperación de este grupo, como ocurre en C.3 Salinas.

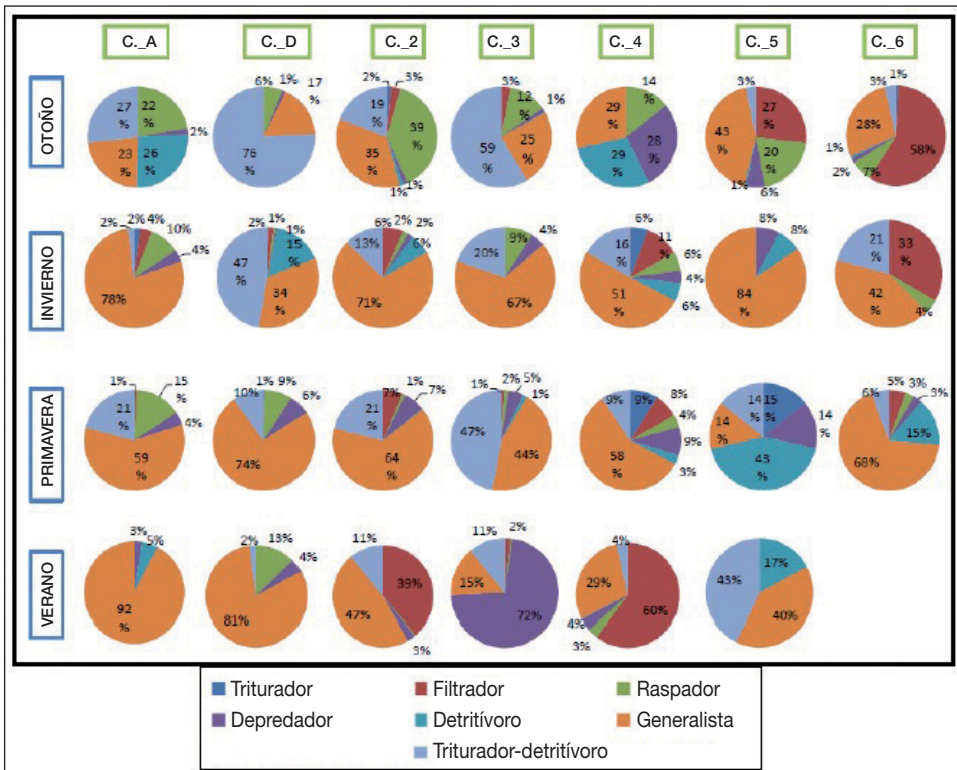
Los oligoquetos no son muy abundantes en las muestras y tan solo resulta significativo el alto porcentaje encontrado en C.5 Mediano, durante el otoño. Por otra parte, los quironómidos muestran tendencia a aumentar río abajo salvo en primavera, donde fueron más abundantes en el tramo central.



**Fig. 22.** Porcentaje de familias pertenecientes a los grupos *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera* (EPT), quironómidos y oligoquetos en cada punto de muestreo y su evolución a lo largo del año: a) otoño, b) invierno, c) primavera, d) verano en el río Cinca.

La integridad biótica es afectada por diferentes variables externas e internas, y precisamente para comprobar cómo afectan estas variables a la comunidad de macroinvertebrados se estudiaron diferentes *traits* (o características) de esta para poder relacionarlos con su evolución espacio-temporal. Entre otros, se analizó el porcentaje de familias asociadas a las diferentes estrategias tróficas, consideradas según lo descrito por TACHET y cols. (2000).

En el análisis del rasgo ecológico de la estrategia trófica (fig. 23), para su clasificación se tuvo en cuenta la existencia de tres tipos de organismos: los herbívoros (trituradores, filtradores y raspadores), los carnívoros (depredadores masticadores o depredadores perforadores-succionadores) y los detritívoros (fragmentadores de partículas de más de 1 milímetro, filtradores o recolectores de partículas menores de 1 milímetro) según la clasificación



**Fig. 23.** Porcentaje de individuos con las diferentes estrategias tróficas en cada punto de muestreo del río Cinca y su evolución en las diferentes estaciones a lo largo del año.

hecha por HANSON y cols. (2010). A las familias que disponían de tres o más estrategias tróficas se las integró en el grupo *generalistas*.

En el tramo alto del río Cinca (desde el punto C.1 hasta el punto C.3) predominan las familias de trituradores-detritívoros, seguida de los detritívoros y los raspadores (que se alimentan de perifiton y microbios adheridos a las rocas u otros sustratos). En los tramos alto y medio hay un mayor número de raspadores que en el tramo bajo del río. El tramo final de estudio, correspondiente a los puntos situados aguas abajo de los dos grandes embalses, Mediano y El Grado (puntos C.5 y C.6, respectivamente), se caracteriza por un aumento de familias con estrategias filtradoras (sobre todo en C.6). Aunque también siguen estando presentes los trituradores-detritívoros, los detritívoros y en menor medida los raspadores. Los depredadores se mantienen de manera constante durante todo el tramo.

Esta es la situación que se dio en el río Cinca sin tener en cuenta a las familias *generalistas*, que son las predominantes en la mayor parte del tramo debido a que dentro de cada familia, en muchas ocasiones, existen géneros con diferentes estrategias tróficas. Pero, además de un diagnóstico longitudinal del río, se puede señalar el aumento de las familias filtradoras en verano respecto al resto de estaciones del año. También cabe destacar que en verano, en el punto C.3 Salinas, hubo un predominio claro de estrategia trófica depredadora y que en el punto C.6 no fue recolectado ningún individuo.

## DISCUSIÓN

El gradiente climático, unido a la litología, al manejo de la cuenca y su mayor o menor cobertura de vegetación, son los factores claves que determinan el estado ecológico de los ecosistemas acuáticos en condiciones naturales (el estado ecológico de referencia). Estos factores han sido profundamente alterados en España desde hace siglos, por lo que es difícil hoy en día encontrar un ecosistema acuático sin ningún tipo de alteración por parte del hombre (PRAT, 1999). El río Cinca, como se ha podido ver a lo largo de este artículo, no es una excepción ya que, entre otros impactos, se encuentra regulado por sistemas de embalses múltiples (LÓPEZ MORENO y GARCÍA-RUIZ, 2003).

### *Caudal y parámetros fisicoquímicos*

Una de las causas de la disminución de las comunidades acuáticas es la alteración del patrón hidrológico. Las fluctuaciones inducidas por cambios en el régimen de caudal pueden modificar la composición de las especies, sus ciclos de vida y la abundancia de las poblaciones (TORRALVA y cols., 1996; BONADA y cols., 2000; GIL QUÍLEZ y cols., 2001; OSCOZ y cols., 2007). Por ello, el régimen hidrológico es un factor indispensable a la hora de evaluar el estado ecológico de un río. El caudal medio del río Cinca durante el periodo estudiado (noviembre de 2012 a julio de 2013) fue notablemente mayor que en el mismo periodo de los dos años anteriores.

Según CHE (2002*b*), el río Cinca sigue un patrón pluvionival. Del análisis hídrico del año 2013 (año correspondiente a este estudio) se deduce que sigue este régimen con alguna excepción, dado que los máximos se registraron en primavera (tras la fusión de las nieves) y los mínimos en invierno, pero no en verano. La razón es que dos de las tres estaciones de aforo de las que se obtuvieron los datos de caudal corresponden con las de muestreo en Mediano y El Grado. En verano queda reflejado un caudal mayor que en otoño, cuando lo esperable (según el régimen natural del río) sería que ocurriese lo contrario. Esta situación artificial garantiza la campaña de riego a los agricultores durante los meses más cálidos y secos. Además, esta alteración también se ve reflejada en la manera tan similar en que oscilan los caudales de Mediano y El Grado durante todo el año debido a que solo los separan 2,5 kilómetros (CHE, 2008). Esta cercanía no permite que el río retome el equilibrio hidromorfológico en este tramo.

La temperatura en los cursos fluviales varía diaria y estacionalmente, pero también con la profundidad y el movimiento de las masas de agua. La temperatura afecta a parámetros fisicoquímicos como el oxígeno disuelto, la conductividad y la concentración de nutrientes, y puede ser limitante en la distribución de algunas especies. La regulación de los ríos mediante la construcción de embalses y la detracción de caudales, constituye un factor importante de alteración del régimen natural de temperaturas (CHE, 2002*b*). En el caso del río Cinca, la temperatura varió estacionalmente según lo esperable, pues los registros de las temperaturas más altas se dieron en verano y las temperaturas más bajas en invierno. Además, la tendencia de este parámetro fue a ir subiendo conforme desciende el río. En la zona

de cabecera se dieron las temperaturas más bajas de cada estación. Esto es lógico, ya que está a mayor altitud (1283 msnm) y en los dos primeros puntos muestreados el valle es muy cerrado y el río queda expuesto al sol muy pocas horas al día. Sin contar con que solo existe algún núcleo de población aislado en la zona. Conforme descendemos en el río se va abriendo el valle, incidiendo la luz solar más horas en la masa de agua y elevando su temperatura. Además, crece el número de poblaciones e industrias que vierten al río.

La conductividad expresa de forma global el grado de mineralización del agua, que depende de las características geológicas de la cuenca, así como de los usos y actividades contaminantes (CHE, 2002*b*). En el caso del río Cinca, la tendencia de este parámetro fue clara, ya que se apreció un aumento progresivo aguas abajo debido al arrastre de sales de los distintos tipos de terreno que atraviesa el río, pero también a los aportes externos como los vertidos industriales, urbanos o agrícolas que va recogiendo a lo largo de su recorrido. No hubo diferencias significativas en cuanto a su evolución temporal a lo largo del año.

La concentración de oxígeno disuelto en las aguas de un río depende de la turbulencia, la temperatura, la presión atmosférica, el contenido en sales del agua y de la producción primaria (del plancton y, sobre todo, del fitobentos y de los macrófitos) (CHE, 2002*b*). En el caso del río Cinca, se pudo comprobar que no hubo diferencias significativas entre puntos de muestreo, aunque la evolución de este parámetro fue a ir disminuyendo desde la cabecera hasta los tramos más bajos del río, encontrándose los valores mínimos de este parámetro en El Grado, debido a la situación estanca del agua que impide su aireación. Haciendo referencia al factor estacional para el cual sí se dieron resultados significativos, se debe señalar que las aguas estuvieron más oxigenadas en otoño (donde se encontró el máximo valor de concentración de oxígeno disuelto en Laspuña), y en verano las aguas mostraron los valores más bajos de oxigenación. Esto se debe en parte a la menor solubilidad del oxígeno cuando la temperatura del agua aumenta. Sin embargo, el descenso puede ser también debido al incremento de concentración del material orgánico en descomposición en las aguas debido a una mayor afluencia de personas en esta época del año (*campings*, casas rurales, centros vacacionales como Morillo de Tou o Ligüerre de Cinca, uso recreativo

del río, etcétera) y a un descenso de la dilución producido por el descenso de caudal en verano respecto a la primavera.

En el río Cinca, apenas se experimentaron variaciones de pH a lo largo del año (como ya indicaba que ocurría en CHE, 2002*b*). Su valor osciló entre los 8-8,9 tanto a lo largo del año como entre los diferentes puntos de muestreo.

### *Estado trófico del río según la cantidad de clorofila bentónica*

Las características tróficas y la abundancia y composición de las comunidades acuáticas están determinadas por las concentraciones de nitrógeno y, especialmente, del fósforo y de oxígeno disuelto del agua (CHE, 2002*b*). Tras analizar la concentración de clorofila *a*, se puede decir que, durante el periodo de estudio, el Cinca fue un río mayoritariamente oligotrófico y puntualmente oligo-mesotrófico (dependiendo del tramo). Con mayores concentraciones de clorofila *a* en las estaciones de primavera y verano en el tramo central del río (puntos C.3 y C.4). Situación esperable si se tiene en cuenta que las fuertes fluctuaciones de nivel de agua afectan a las estrategias de colonización del perifiton (CASCO y TOJA, 2003), como ocurre con los embalses de Mediano y El Grado, donde se vio reducida la concentración de clorofila debido a las fluctuaciones de nivel y al carácter lenítico durante algunas épocas del año. En este estudio, la única situación de eutrofia registrada fue en el punto C.3, que corresponde a Salinas, tanto en primavera como en verano.

### *Análisis de los índices de calidad y diversidad de las aguas*

Tras analizar la evolución que siguieron los índices biológicos estudiados (IBMWP, diversidad, riqueza taxonómica y equidad) se puede decir que tanto el IBMWP como la riqueza taxonómica variaron espacialmente, es decir, entre puntos de muestreo, aunque también temporalmente, entre estaciones. Sin embargo, la diversidad estuvo más influenciada por el factor temporal en el caso del río Cinca, no habiendo diferencias de diversidad a lo largo del río. Esto es debido a que la riqueza y el IBMWP están determinados por el número de familias presentes en la muestra, y, por lo tanto,



el IBMWP está muy relacionado con la riqueza taxonómica (ÁLVAREZ-CABRIA, 2009). La diversidad, sin embargo, tiene en cuenta el número de individuos, y este número depende más de los cambios ambientales que se producen a lo largo del año. La equidad en los diferentes puntos de muestreo y estaciones del año fue equiparable.

Los puntos centrales del tramo (Pineta y Laspuña) fueron los que obtuvieron un valor más elevado de IBMWP, y, por lo tanto, mejor calidad de sus aguas. En el caso concreto de Laspuña, el IBMWP sobrepasó el valor de 100 en tres de los cuatro muestreos efectuados, otorgándole una calidad de estado ecológico de sus aguas *Muy bueno*. Además, también fue el punto de mayor diversidad y riqueza taxonómica (con hasta 27 familias diferentes recolectadas en invierno). Al contrario ocurre con el punto situado aguas abajo de Mediano, que obtuvo la peor calidad, de estado ecológico *Malo*. Esto se debe a la baja puntuación obtenida en el índice IBMWP en todos los muestreos, ya que es un tramo de río que la mayor parte del año se encuentra anegado por el agua debido a la proximidad del embalse de El Grado. Consecuencia directa de este estado lacustre fue el bajo número de macroinvertebrados recolectados en dicho punto. Además, se observó que en verano siempre empeoró el estado ecológico de todos los puntos muestreados.

La diversidad mostró diferencias significativas entre las diferentes estaciones del año y, por lo tanto, no cumple la dinámica descrita por otros autores como ALBA-TERCEDOR y SÁNCHEZ-ORTEGA (1988), ALBA-TERCEDOR y cols. (2005), que hacen referencia a una disminución de la diversidad río abajo debido a la alteración antrópica. En este caso no se produjeron diferencias significativas entre puntos de muestreo, si no entre estaciones. La diversidad fue menor en verano que en el resto del año.

#### *Abundancia, estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos*

La abundancia de macroinvertebrados varió entre los diferentes puntos de muestreo, siendo recolectados una mayor cantidad de individuos en los puntos centrales del tramo estudiado (Pineta, Salinas y Laspuña).

En el PCA, los puntos muestreados en primavera y otoño quedaron posicionados en el lado negativo del primer eje. Durante la primavera y el

otoño el caudal fue elevado (debido al deshielo entre otros factores). Un incremento de caudal de origen natural está relacionado con un incremento de escorrentía en la cuenca y, por lo tanto, un aumento en el río de los materiales orgánicos procedentes del ecosistema terrestre. En estas condiciones, predominaron las familias *Chironomidae* y *Simuliidae*, ambas pertenecientes al orden *Diptera* y que toleran cierta polución orgánica. De hecho, los quironómidos pueden tolerar condiciones de falta casi total de oxígeno. También se encontraba en este lado del eje, la familia *Baetidae* del orden *Ephemeroptera*, que es la más frecuente de todas las efémeras y, aunque existen especies muy sensibles a la contaminación, otras especies de esta familia son tolerantes a unos niveles moderados de contaminación orgánica (OSCOZ, 2012). Estas tres familias viven en zonas de corriente y están adaptadas a este ambiente mediante diversas formas como los simúlidos que se fijan sobre piedras y sustratos mediante una ventosa o como los baétidos que son, en general, buenos nadadores (OSCOZ, 2012). El hecho de que los mayores valores de calidad ecológica (índice IBMWP) en el Cinca apareciesen en primavera, junto con los datos que nos da el PCA, indican que las elevadas puntuaciones obtenidas en dicha época del año se obtuvieron gracias a la contribución del resto de familias situadas en el lado negativo del primer eje, pero más cercanas al origen como *Rhyacophilidae*, *Heptageniidae*, *Perlidae*, consideradas como indicadoras de buena calidad del agua por sus elevados requerimientos ecológicos.

En el lado positivo del primer eje, se situaron la mayoría de puntos muestreados en invierno y verano sin destacar ninguna familia de macroinvertebrado que sea representativa a este lado del eje. Las familias *Hidrobiidae* (orden *Mesogastropoda*) y *Lepidostomatidae* (orden *Trichoptera*), entre otras, se encuentran muy cercanas al origen y, por lo tanto, no tienen una alta correlación con el eje. Aunque entre muchas de estas familias destaca la característica de que habitan en zonas con menor corriente, lo cual es lógico en las estaciones de invierno y verano, donde los caudales disminuyeron (en invierno respecto al otoño, y en verano respecto a la primavera).

Al analizar el segundo eje, se observa claramente que se encuentran agrupados los puntos de muestreo del tramo alto del río Cinca, y concretamente los del primer punto de muestreo (Parador de Bielsa). Junto a ellos destaca la presencia de la familia *Leuctridae*, perteneciente al orden

*Plecoptera*. La familia *Leuctridae* es la más común entre los plecópteros y suele habitar en zonas de sustrato arenoso o mixto de cantos, gravas y arenas. Y como se alimentan de materia orgánica, son más tolerantes que otros plecópteros cuando esta se ve incrementada (OSCOZ, 2012). La presencia de esta familia en el tramo alto del río puede estar unida al aporte de vertidos de la tubería del Parador Nacional, que incrementa la concentración de materia orgánica en las aguas del Cinca en este punto.

En el lado positivo del segundo eje están situados los puntos de muestreo de los tramos medio y bajo del río Cinca. Representados por las familias *Hydropsychidae* y *Elmidae*, principalmente. Estas dos familias pertenecen a los órdenes *Trichoptera* y *Coleoptera*, respectivamente. La familia *Elmidae* suele estar asociada a zonas donde se acumulan restos vegetales de los que se alimentan y precisan aguas ricas en oxígeno, por lo que se la asocia con cierta calidad en el agua. Por otra parte, encontrar a la familia *Hydropsychidae* (con estrategia filtradora) no es muy significativo puesto que se suele localizar a lo largo de todo el río, y aunque existen algunas especies muy sensibles, por lo general no están considerados como un grupo especialmente indicador de calidad del agua (OSCOZ, 2012). Puesto que el índice IBMWP mostraba cómo el punto C.4 Laspuña obtenía los mejores valores de calidad de sus aguas, si se observa el PCA, se ve cómo todos los muestreos efectuados en este punto se sitúan cercanos a familias con elevadas puntuaciones para este índice como: *Ephemerellidae*, *Chloroperlidae*, *Rhyacophilidae*, *Perlidae* y *Heptageniidae*.

Se puede afirmar que los grupos EPT disminuyen conforme descendemos en el río, como ya indicaban otros autores como GARCÍA DE JALÓN (2008), al contrario de lo que ocurre con los quironómidos, que además, no son un grupo representativo en el río Cinca por su baja abundancia. Esto indica un aumento de la contaminación orgánica río abajo debido a las diferentes alteraciones sufridas a lo largo de su recorrido, debidas tanto a los vertidos de distinta naturaleza como al sistema de embalses en su cuenca.

En cuanto a los rasgos ecológicos estudiados (*traits*), concretamente al que hace referencia a la estrategia trófica que utilizan los macroinvertebrados, se puede decir que de forma general y sin tener en cuenta los grupos generalistas (que tienen más de dos estrategias tróficas) se deduce que en cabecera predominan los trituradores y detritívoros, y en los tramos alto y

medio es más elevado el número de raspadores (sobre todo en otoño). En el tramo final hay más filtradores (principalmente en verano), que se alimentan de partículas en suspensión recolectadas mediante cepillos bucales o redes de seda. Los depredadores se mantienen constantes durante todo el tramo. Se puede decir entonces que se cumple el concepto de *río continuo* que describen VANNOTE y cols. (1980), quienes proponen una distribución de los macroinvertebrados a lo largo del río de manera que aprovechen el máximo de los recursos sostenibles en cada tramo de río y época del año.

## CONCLUSIONES

Los embalses existentes en la cuenca del río Cinca modifican su régimen de caudales y su hidrogeomorfología, pues a lo largo del estudio se observó que los caudales en el río eran mayores en verano que en otoño, cuando debería ser al revés si el río siguiese el régimen hidrológico natural. Los efectos producidos por dicha alteración son más notables aguas abajo de los embalses de mayor tamaño, en este caso, de Mediano y El Grado. Estos tramos fluviales han pasado a ser (de manera constante o puntualmente) sistemas lacustres, con características de agua lenítica. Condiciones que han obligado a la fauna acuática a adaptarse o a desaparecer de estos tramos.

En general, el río sigue el patrón esperado en cuanto a parámetros físico-químicos, pero en los embalses de Mediano y El Grado se puede observar claramente la alteración de las características naturales de su curso, en los que se produce un aumento de la temperatura del agua y de la conductividad. Además, los embalses acumulan materia orgánica, produciendo un aumento de la eutrofización aguas abajo que se ve traducida en una disminución de la concentración de oxígeno disuelto en la masa de agua que se acentúa en verano. Este aumento de materia orgánica viene dado tanto por los vertidos de aguas residuales que el río recoge a su paso como por vertidos industriales, agrícolas y ganaderos que van siendo más abundantes cuanto más descendemos en el cauce.

El estado ecológico del río Cinca, en general, fue bueno. Se alternaron épocas de calidad buena o muy buena (como ocurrió en otoño y primavera) con épocas de calidad aceptable o deficiente (invierno y verano). El tramo central obtuvo la mejor calidad (índice IBMWP) del recorrido,

especialmente en Laspuña. Pero también en este tramo se encontraron las dos únicas situaciones de eutrofia detectadas en todo el año, en primavera y verano (en Salinas).

Los índices biológicos, en general, disminuyeron al llegar al punto C.5 Mediano, donde se encontró un estado de degradación del medio mayor. En este punto se obtuvieron los valores más bajos del índice IBMWP y la riqueza taxonómica. En el último punto del tramo estudiado (C.6), situado a una distancia considerable de la presa de El Grado, la tendencia del río fue a recuperarse de los impactos sufridos aguas arriba, ya que los índices de calidad y riqueza aumentan de una forma notoria respecto al punto anterior.

La abundancia de organismos fue más elevada en el tramo medio del río, principalmente en Pineta y Laspuña. Las familias más abundantes de todo el estudio fueron *Chironomidae* (orden *Diptera*) y *Baetidae* (orden *Ephemeroptera*). Familias sin altos requerimientos ecológicos y con una gran variedad de especies con características diferentes, lo que hace que estén presentes todo el año independientemente del tramo de río y de la estación. Los grupos ETP (*Ephemeroptera*, *Trichoptera*, *Plecoptera*) son más abundantes en la cabecera y tienden a disminuir aguas abajo. Al contrario ocurre con los quironómidos, lo que indica así un aumento de la contaminación por materia orgánica conforme descendemos por el cauce del río Cinca.

Los datos obtenidos en este estudio mostraron que un análisis conjunto de parámetros fisicoquímicos e índices bióticos permite conocer el estado ecológico del río Cinca y las perturbaciones que sufre. El uso de macroinvertebrados bentónicos para evaluar la calidad del río demostró ser de mucha utilidad, indicando alteraciones a corto y largo plazo, además de ser un método barato. La concentración de clorofila *a* resulta de gran utilidad para este tipo de estudios, pues aportó información complementaria muy útil en cuanto a la diagnosis del río. Y el hecho de llevar a cabo un estudio estacional, permitió detectar alteraciones en el ecosistema fluvial causadas tiempo atrás y comparar la evolución espacio-temporal tanto de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, como de la concentración de clorofila o de los parámetros fisicoquímicos. Estos estudios aportan información indispensable para tener una visión exhaustiva del río de cara a la correcta gestión de su cuenca.

## AGRADECIMIENTOS

A todos los amigos y familiares que colaboraron en los muestreos y a lo largo de todo el estudio, y en especial a Luis Navarro, Carlos Corral, Marta Michavila, Alberto López, Omar Martínez y Jorge Sierra.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEL, P. D. (2000). *Water Pollution Biology*. Taylor & Francis Publishers. 2<sup>nd</sup> ed. Londres.
- ALBA-TERCEDOR, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. En *IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA)*. Almería, vol. 2: 203-213. Instituto Técnico Geo-Minero de España. Madrid.
- ALBA-TERCEDOR, J., y A. SÁNCHEZ-ORTEGA (1988). Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basada en el de Hellawell (1978). *Limnetica*, 4: 51-56.
- ALBA-TERCEDOR, J., P. JÁIMEZ-CUÉLLAR, M. ÁLVAREZ, J. AVILÉS, N. BONADA, I. CAPARRÓS, J. CASAS, A. MELLADO, M. ORTEGA, I. PARDO, N. PRAT I FORNELLS, M.<sup>a</sup> RIERADEVALL I SANT, S. ROBLES, C. SAINZ-CANTERO, A. SÁNCHEZ-ORTEGA, M.<sup>a</sup> L. SUÁREZ, M. R. VIDAL-ABARCA GUTIÉRREZ, S. VIVAS y C. ZAMORA-MUÑOZ (2002). Caracterización del estado ecológico de ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP<sup>+</sup>). *Limnetica*, 21 (3-4): 175-185.
- ALBA-TERCEDOR, J., I. PARDO, N. PRAT y A. PUJANTE. Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). (2005). *Metodología para el establecimiento del Estado Ecológico según la Directiva MARCO del Agua. Protocolos de muestreo y análisis para invertebrados bentónicos*. Ministerio de Medio Ambiente. Gobierno de Aragón. Madrid.
- ALONSO, Á. (2006). Valoración del efecto de la degradación ambiental sobre los macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares. *Ecosistemas*, 15 (2): 101-105.
- ALONSO, Á., y J. A. CAMARGO (2005). Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles. *Ecosistemas*, 14 (3): 87-99.
- ÁLVAREZ-CABRIA, M. (2009). *Estudio de la variabilidad espacio-temporal de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en los ecosistemas fluviales de Cantabria. Repercusiones para la aplicación de la Directiva Marco del Agua*. (Tesis doctoral). Universidad de Cantabria. Santander.
- ARMITAGE, P. D., D. MOSS, J. F. WRIGTH y M. T. FURSE (1983). The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running water sites. *Water Research*, 17: 333-347.
- BONADA, N., M.<sup>a</sup> RIERADEVALL y N. PRAT (2000). Temporalidad y contaminación como claves para interpretar la biodiversidad de macroinvertebrados en un arroyo mediterráneo (Riera de Sant Cugat, Barcelona). *Limnetica*, 18: 81-90.

- BLISJWIJK, W. V., C. N. COIMBRA y M. A. S. GRAÇA (2004). The use of biological methods bases on macroinvertebrates to an Iberian stream (Central Portugal) receiving a paper mill effluent. *Limnetica*, 23 (3-4): 307-314.
- CAIRNS, J., y J. M. PRATT (1993). A History of Biological Monitoring Using Benthic Macroinvertebrates. En D. Rosemberg y cols. (eds.), *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*: 10-27. Chapman & Hall. Nueva York.
- CASCO, M.<sup>a</sup> A., y J. TOJA (2003). Efecto de la fluctuación de nivel del agua en la biomasa, la diversidad y las estrategias del perifiton de los embalses. *Limnetica*, 22 (1-2): 115-134.
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO (CHE) (2002a). *Atlas del río Cinca. Estudio de la calidad ecológica integral de los tramos fluviales más importantes del río Cinca*, vol. III. Comisaría de Aguas (Ministerio de Medio Ambiente). Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza.
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO (CHE) (2002b). *Informe de Síntesis río Cinca. Estudio de la calidad ecológica integral de los tramos fluviales más importantes del río Cinca*. vol. II. Comisaría de Aguas (Ministerio de Medio Ambiente). Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza.
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO (CHE) (2007). *Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la Directiva Marco del Agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro: protocolos de muestreo y análisis para fitoplancton, fitobentos (microalgas bentónicas), macrofitos, invertebrados bentónicos, ictiofauna*. Disponible en [http://www.magrama.gob.es/es/agua/publicaciones/protocolos\\_muestreo\\_biologico\\_con\\_portada\\_tcm7-16059.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/agua/publicaciones/protocolos_muestreo_biologico_con_portada_tcm7-16059.pdf) [consulta: 26/12/2014].
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO (CHE) (2008). *Borrador del Plan Hidrológico del río Cinca*. Versión V.1; Zaragoza, marzo de 2008. Gobierno de Aragón. Ministerio de Medio Ambiente. Generalitat de Catalunya.
- DIRECTIVA 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- DODDS, W. K., J. R. JONES y E. B. WELCH (1998). Suggested classification of stream trophic state: distributions of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus. *Water Research*, 32 (5): 1455-1462.
- ELOSEGI, A., y S. SABATER (2009). Presentación: importancia de los ríos. *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*: 15-21. Fundación BBVA. Bilbao.
- GARCÍA DE JALÓN, D. (2008). *La regulación de los caudales y su efecto en la biodiversidad*. Disponible en [http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/cajaAzul/6B-S2P1\\_Diego%20G%20JalonACC.pdf](http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/cajaAzul/6B-S2P1_Diego%20G%20JalonACC.pdf) [consulta: 27/12/2013].
- GARCÍA DE JALÓN, D., M. GONZÁLEZ DEL TÁNAGO y C. CASADO (1992). Ecology of regulated streams in Spain: An overview. *Limnetica*, 8: 161-166.
- GARCÍA-RUIZ, J. M.<sup>a</sup> (1977). Grandes embalses y desorganización del espacio: el ejemplo del Alto Aragón. *Cuadernos de Investigación: Geografía e Historia*, 3 (1): 31-46.

- GARCÍA-RUIZ, J. M.<sup>a</sup>, J. PUIGDEFÁBREGAS-TOMÁS y J. CREUS-NOVAU (1985). *Los recursos hídricos superficiales del Alto Aragón*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 4). Huesca.
- GARCÍA-RUIZ, J. M.<sup>a</sup>, J. PUIGDEFÁBREGAS-TOMÁS y J. CREUS-NOVAU (2013). Influencia de las características físicas de las cuencas hidrográficas en la frecuencia e intensidad de crecidas. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 6: 19-36.
- GIL QUÍLEZ, M. J., A. PALAU y Ch. FERNÁNDEZ MANZANAL (2001). Calidad biológica (BMWP') de las aguas del río Cinca (Huesca). *Limnetica*, 20 (1): 107-113.
- HANSON, P., M. SPRINGER y A. RAMÍREZ (2010). Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical*, vol. 58, supl. 4.
- INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (ahora Instituto Geológico y Minero de España – IGME) (1989). *Mapa geológico de España. Escala 1: 50 000. Bujaruelo*. 1.<sup>a</sup> ed. IGME. Madrid.
- JEFFREY, S. W., y G. F. HUMPHREY (1975). New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen*, 167: 191-194.
- JESÚS, T., N. FORMIGO, P. SANTOS y G. R. TAVARES (2004). Impact evaluation of the Vila Viçosa small hydroelectric power plant (Portugal) on the water quality and on the dynamics of benthic macroinvertebrate communities of the Ardena River. *Limnetica*, 23 (3-4): 241-256.
- KORTE, T., A. B. M. BAKI, T. OFENBÖCK, O. MOOG, S. SHARMA y D. HERING (2010). Assessing river ecological quality using benthic macroinvertebrates in the Hindu Kush-Himalayan region. *Hydrobiologia*, 651: 59-76.
- LÓPEZ-FLORES, R., X. D. QUINTANA, V. SALVADÓ, M. HIDALGO, L. SALA y R. MORENO-AMICH (2003). Comparison of nutrient and contaminant fluxes in two areas with different hydrological regimes (Empordà Wetlands, NE Spain). *Water Resources*, 37: 3034-3046.
- LÓPEZ MORENO, J. I., y J. M.<sup>a</sup> GARCÍA-RUIZ (2003). Influencia de los embalses sobre el régimen fluvial en los Pirineos centrales. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 29: 7-21.
- LÓPEZ NÚÑEZ, F. A., L. GONZÁLEZ FILGUIRA, I. GUTIÉRREZ DÍEZ y D. RODRÍGUEZ VIEITES (2011). Efecto de una presa sobre las comunidades bentónicas de macroinvertebrados y su hábitat en un río atlántico. *Boletín BIGA*, 10: 19-29.
- MISERENDINO, M. L., y L. A. PIZZOLÓN (1999). La evaluación rápida de la calidad del agua de los ríos usando macroinvertebrados: un índice biótico nivel familiar para la zona patagónica andina. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 11 (2): 137-148.
- ORTIZ, J. D., E. MARTÍ y M. Á. PUIG (2005). Recovery of the macroinvertebrate community below a wastewater treatment plant input a Mediterranean stream. *Hydrobiologia*, 545: 289-302.
- OSCOZ, J. (2012). *Guía de campo. Macroinvertebrados de la cuenca del Ebro*. Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza.



- OSCOZ, J., F. CAMPOS y M.<sup>a</sup> C. ESCALA (2004). Calidad biológica de las aguas del río Larraun (Navarra) (1996-1997). *Ecología*, 18: 11-20.
- OSCOZ, J., C. DURÁN, M. PARDOS, J. GIL y A. VIAMONTE (2008). Evolución histórica de la calidad biológica del agua en la cuenca del Ebro (España) (1990-2005). *Limnetica*, 27 (1): 119-130.
- OSCOZ, J., J. GOMÁ, L. ECTOR, J. CAMBRA, M. PARDOS y C. DURÁN. (2007). Estudio comparativo del estado ecológico de los ríos de la cuenca del Ebro mediante macroinvertebrados y diatomeas. *Limnetica*, 26 (1): 143-158.
- OSCOZ, J., D. GALICIA y R. MIRANDA (2011). *Clave dicotómica para la identificación de macroinvertebrados de la cuenca del Ebro*. Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza.
- PEDROCCHI-RENAULT, C. (1987). *Fauna ornítica del Alto Aragón occidental*, vol. 1. CSIC. Jaca.
- PLATTS, W. S., W. F. MEGAHAN y G. W. MINSHAL (1983). *Methods for evaluating stream, riparian, and biotic conditions*. U. S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. Ogden, UT.
- PRAT FORNELLS, N. (1999). Estado ecológico de los ecosistemas acuáticos en España. En *El agua a debate desde la Universidad: hacia una nueva cultura del agua: 1.º Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación de Aguas*: 153-172. IFC. Zaragoza.
- SEGNINI, S. (2003). El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Ecotrópicos*, 16 (2): 45-63.
- TACHET, H., P. RICHOUX, M. BOURNAUD y P. USSEGLO-POLATERA (2000). *Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie*: 1-588. CNRS éditions. París.
- TORRALBA-BURRIAL, A., y F. J. OCHARAN (2007). Comparación del muestreo de macroinvertebrados bentónicos fluviales con muestreador súrber y con red manual en ríos de Aragón (NE Península Ibérica). *Limnetica*, 26 (1): 13-24.
- TORRALVA, M. M., F. J. OLIVA, N. A. UBERO-PASCAL, J. MALO y M. Á. PUIG (1996). Efectos de la regulación sobre los macroinvertebrados en el río Segura (SE España). *Limnetica*, 11 (2): 49-56.
- VANNOTE, R. L., G. W. MINSHALL, K. W. CUMMINS, J. R. SEDELL y C. E. CUSHING (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37: 130-137.



## **EL CAMPO FENERO: LAS DISPUTAS SECULARES POR UN PEQUEÑO MONTE DEL TÉRMINO MUNICIPAL DE BIEL (ZARAGOZA)**

Ignacio PÉREZ-SOBA<sup>1</sup>

RESUMEN.— El Campo Fenero es un pequeño monte en el término municipal de Biel (Zaragoza), con un notable valor pastoral: sustenta un valioso pastizal, tiene un abrevadero muy cercano a la cresta de la sierra de Santo Domingo y linda con una cañada real que comunica el Pirineo con el norte de la provincia de Zaragoza. Ese monte es la única parte del término de Biel que se halla en la cuenca del río Asabón, en la cual se ubica el vecino término municipal de Las Peñas de Riglos (antes, de Salinas de Jaca), de la provincia de Huesca. Por eso, el pueblo de Biel mantuvo a lo largo de la historia conflictos con los sucesivos propietarios de los montes colindantes sitios en Salinas de Jaca: el monasterio de San Juan de la Peña, los particulares que compraron los montes en la desamortización eclesiástica de Mendizábal y, finalmente, el Patrimonio Forestal del Estado (PFE), que los adquirió en 1954. Fue el PFE el que llegó a un acuerdo con el Ayuntamiento de Biel que puso fin a la polémica. No obstante, la propiedad del monte cayó en el olvido, hasta que fue redescubierta y puesta nuevamente en ejercicio en 2011. Este monte constituye un caso en el que la aplicación de sucesivas políticas administrativas (de desamortización eclesiástica o civil, de demarcación municipal o de repoblación forestal) afectó en gran medida a los sistemas tradicionales de aprovechamiento forestal, y también una prueba de que el PFE, en contra de lo que muchas veces se ha afirmado, a menudo mostró un talante social y conciliador en su política de repoblación forestal.

---

<sup>1</sup> Servicio Provincial de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente de Zaragoza. Gobierno de Aragón. Paseo de María Agustín, 36. E-50071 ZARAGOZA. iperezs@aragon.es

ABSTRACT.— Campo Fenero is the name of a small woodland in the municipality of Biel (Zaragoza), with a remarkable pastoral value: its pasture is valuable, it has a drinking trough which is very close to the top of the Santo Domingo Mountain Range, and it is next to a cattle way that connects the Pyrenees with the north of the province of Zaragoza. This woodland is the only part of the municipality of Biel that is in the Asabón River basin, in which is located the neighbouring municipality of Las Peñas de Riglos (formerly, Salinas de Jaca), in the province of Huesca. That is the reason because the town of Biel maintained, throughout the history, conflicts with successive owners of the woodlands placed in Salinas de Jaca: the monastery of San Juan de la Peña, individuals who bought the woodlands in the Mendizábal's ecclesiastical confiscation, and finally the Patrimonio Forestal del Estado (PFE), which acquired them in 1954. It was the PFE which reached an agreement with the town of Biel, ending the controversy. However, the ownership of the woodland was forgotten until it was rediscovered and put back in exercise in 2011. This woodland is a case in which the successive application of administrative policies (of ecclesiastical or civil confiscation, municipal delimitation or reforestation) greatly affected the traditional forestry systems, and also a proof that, contrary to what is often said, the PFE often had a social and conciliatory nature in its reforestation policy.

KEY WORDS.— Pastures, public woodlands, forest property, territorial jurisdiction, public forest administration, monastery of San Juan de la Peña (Aragón, Spain).

## INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, en la bibliografía forestal ha sido llamativa la relativa escasez de estudios sobre la propiedad de los montes, y en particular sobre la historia de esta propiedad. Ello se explica por distintos motivos. En primer lugar, por la aridez e ingratitud de la materia, que ya lamentaba amargamente don Victoriano Deleito y Butragueño, ingeniero de Montes jefe de la Inspección de Deslindes, en la Asamblea Forestal celebrada en 1910: “La causa de los montes es la más ingrata de cuantas abarca este departamento ministerial; ni glorias ni triunfos inmediatos ofrece a los Ministros y Directores, y los deslindes son dentro del ramo de Montes la labor menos apetecida por sus dificultades y por su ninguna brillantez. Así no es de extrañar que la afición arrumbe por derroteros de trabajos más amenos y más lucidos, que dejan más satisfecho el ánimo que los deslindes” (DELEITO, 1910: 13). En segundo lugar, por la extrema complejidad de la propiedad forestal, campo en el que se presenta una variedad inacabable

de casos particulares, cada uno de los cuales reclama un examen detenido, y que con frecuencia se apartan de los rígidos corsés de los manuales jurídicos. En efecto, en la propiedad y uso de nuestros montes se da una conjunción de normas provenientes de distintas ramas del derecho (civiles, forales, forestales, de régimen local, de ordenación de pastos, de reforma y desarrollo agrarios, de arrendamientos rústicos), que en la práctica inciden simultáneamente en la actividad forestal de la población rural. Como señalan distintos autores (ARGUDO, 1999: 143; PÉREZ-SOBA y SOLÁ, 2003: 282), esta conjunción justificaría incluso que el derecho agrario (y, dentro de él, el forestal) fuera ganando progresivamente la consideración de disciplina autónoma.

Por otra parte, la legislación forestal se ha convertido en un ámbito marginal de los estudios jurídicos, que además, cuando lo abordan, no pocas veces caen en una lamentable superficialidad. A esta marginación ha contribuido no poco la despoblación rural: la sociedad tradicional agraria estaba fuertemente vinculada a los aprovechamientos comunales y a las normas forestales. Pero se ha producido una casi completa desarticulación de esa sociedad tradicional: no solo hay cada vez menos población rural, sino además la que queda depende cada vez menos del sector primario, y aun la que de él depende va viéndose cada vez más regida por el derecho administrativo puro que por el agrario tradicional (consecuencia de la tremenda distorsión que en el ámbito rural han causado las subvenciones de la Política Agraria Común).

Así pues, se entiende también que la acción de la Administración en materia de propiedad forestal haya sido, históricamente, menos intensa que en otros muchos campos profesionales, y ello a pesar de que, desde un punto de vista teórico, nadie discuta las otras palabras que Deleito pronunciaba, a continuación, en esa misma Asamblea: “bien sabéis que [los deslindes] son el asiento y la fijación de nuestro campo de acción, y que no hay buen gobierno ni buena administración de un monte sin que tengamos hecho de él su deslinde externo e interno, es decir, sin que conozcamos perfectamente sus límites y cabida y las servidumbres que sobre él pesan. La Administración forestal exige el conocimiento de la riqueza que ha de gobernar” (DELEITO, 1910: 14). A este valor básico añadimos nosotros otro: como dice GARCÍA DE ENTERRÍA (1986: 11), el patrimonio de los pueblos es el resultado de una viva tradición de colectivismo agropecuario que se pierde en la noche de los tiempos. Conservadas (a veces cabría decir

*petrificadas*) en las formas de propiedad forestal se encuentran las pistas que nos permiten encontrar las claves de funcionamiento de un tipo de sociedad rural ya desaparecido o en trance de desaparición, lo cual subraya la importancia y la procedencia de su estudio y codificación.

Por todo ello, tuvimos ocasión de presentar como comunicación oral en el Sexto Congreso Forestal Español convocado por la Sociedad Española de Ciencias Forestales (Vitoria, 10-14 de junio de 2013) un estudio de caso de la propiedad de un monte: el denominado *Campo Fenero* (actual monte de utilidad pública número 507 de los de la provincia de Zaragoza), perteneciente a la Administración de la Comunidad Autónoma de Aragón y sito en el término municipal de Biel, Zaragoza (PÉREZ-SOBA, 2013a). Para la realización del estudio, se hizo una búsqueda documental, siendo fuentes fundamentales los archivos de los Servicios Provinciales de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón en Huesca y en Zaragoza, y secundaria el del Servicio Regional de Aragón del Instituto Geográfico Nacional. Se completó dicha recopilación con una revisión bibliográfica y con dos visitas al monte, en las que se hizo un reconocimiento del terreno, un reportaje fotográfico y un levantamiento topográfico que incluyó la identificación de los mojones del término municipal.

Este caso presentaba singularidades interesantes: en particular, mostraba la confluencia de problemas legales de orígenes históricos muy variados (la desamortización forestal, tanto civil como eclesiástica; la implantación de las demarcaciones municipales contemporáneas, que no siempre respetó los límites de las propiedades afectadas; o la política de compra de montes realizada por la Administración Forestal tras la Guerra Civil), y naturalezas jurídicas muy distintas (jurisdicciones territoriales, servidumbres de aprovechamientos, derecho de propiedad, etcétera). Por ello, del análisis de dichos problemas y de las soluciones adoptadas, cabía esperar la obtención de conclusiones útiles para casos similares.

Las limitaciones propias de las comunicaciones a congresos nos obligaron a dejar fuera del texto finalmente presentado una gran cantidad de datos y consideraciones que creemos relevantes. Por eso, este artículo expone con mayor amplitud y detalle el estudio de caso ya presentado en la comunicación oral al Sexto Congreso Forestal Español, por su interés particular para el mejor conocimiento del Prepirineo aragonés, de las propiedades del real monasterio de

San Juan de la Peña (primitivo dueño del Campo Fenero) y, también, de los distintos impactos de las políticas administrativas en el medio rural aragonés.

## DESCRIPCIÓN DEL CAMPO FENERO

### *Ubicación, datos generales y orografía*

El Campo Fenero se halla en el término municipal de Biel, en el partido judicial de Ejea de los Caballeros, comarca de las Cinco Villas, provincia de Zaragoza. Se halla íntegramente en la hoja 208 (27-10), *Uncastillo*, del mapa de España a escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN). En el mapa a escala 1:25 000, se encuentra íntegramente en la hoja 208-II (54-19), *Longás*.

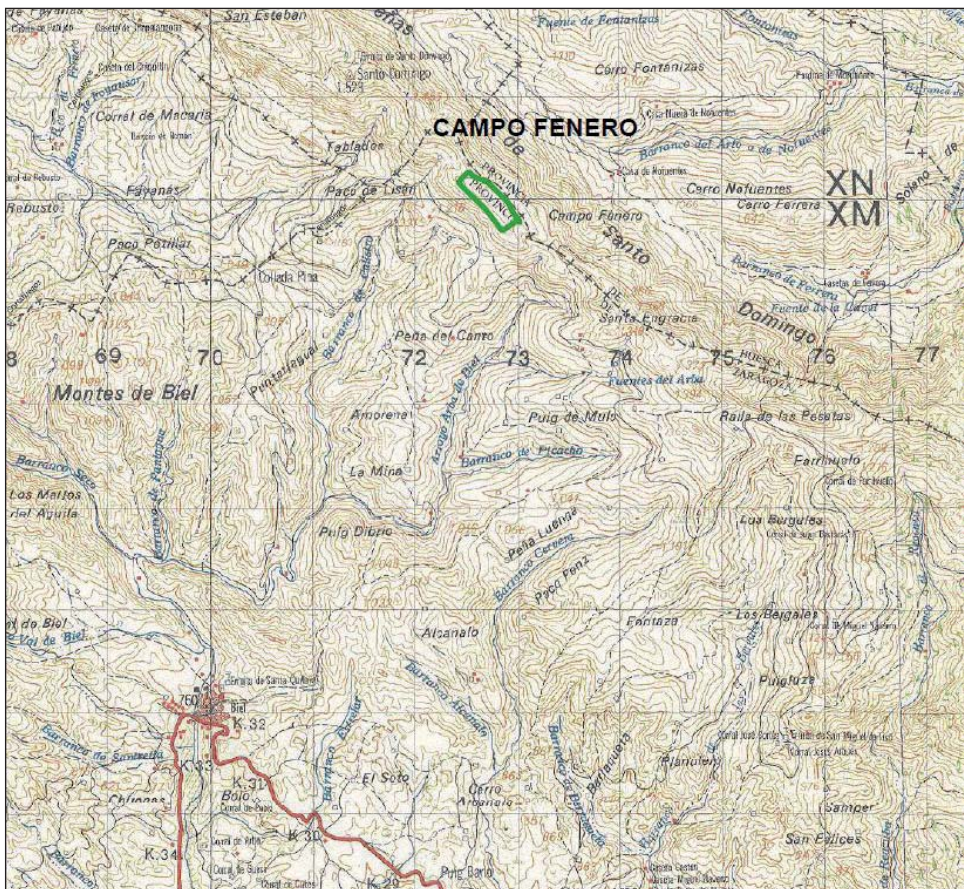
Se sitúa en la sierra de Santo Domingo, que es una zona de especial valor forestal y medioambiental del Prepirineo zaragozano, incluida dentro del Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) n.º ES2410064, *Sierras de Santo Domingo y Caballera*, y de la Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) n.º ES0000287, *Sierras de Santo Domingo y Caballera y río Onsella*. Está en trámite la declaración de esa sierra como Espacio Natural



**Fig. 1.** Vista de conjunto de Campo Fenero, desde la cañada real de Longás a Valdeforno.

Protegido, en la categoría de Paisaje Protegido; se anunció el proyecto del correspondiente Decreto del Gobierno de Aragón en el *Boletín Oficial de Aragón*, n.º 164, de 22 de agosto de 2014.

La superficie del Campo Fenero es de solo 12,6814 hectáreas, según el levantamiento topográfico hecho para el expediente de declaración de utilidad pública (al que luego haremos referencia), y de 13 hectáreas según la inscripción en el Registro de la Propiedad de Ejea de los Caballeros. La figura 1 muestra una vista general del Campo, mientras que las figuras 2 y 3 presentan planos de ubicación y de detalle del monte.



**Fig. 2.** Plano de ubicación del Campo Fenero, sobre la cartografía del IGN a escala 1: 50 000. Obsérvese su ubicación excéntrica en el término municipal de Biel, junto a la cresta de la sierra de Santo Domingo.





**Fig. 3.** Plano de detalle del Campo Fenero sobre ortofotografía del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) de 2012. Obsérvese su estratégica ubicación entre la cañada real de Longás a Valdeforno (que lo separa del antiguo término municipal de Salinas de Jaca, hoy incorporado al de Las Peñas de Riglos, donde se ubica el monte designado como *pardina de Nofuentes*) y dos de los montes de utilidad pública (MUP) propiedad del Ayuntamiento de Biel: el MUP número 182 de los de la provincia de Zaragoza, denominado *Nuestra Señora de Orrios*, y el MUP 186 de la misma provincia, llamado *O Paco de Puy de Mulo*.

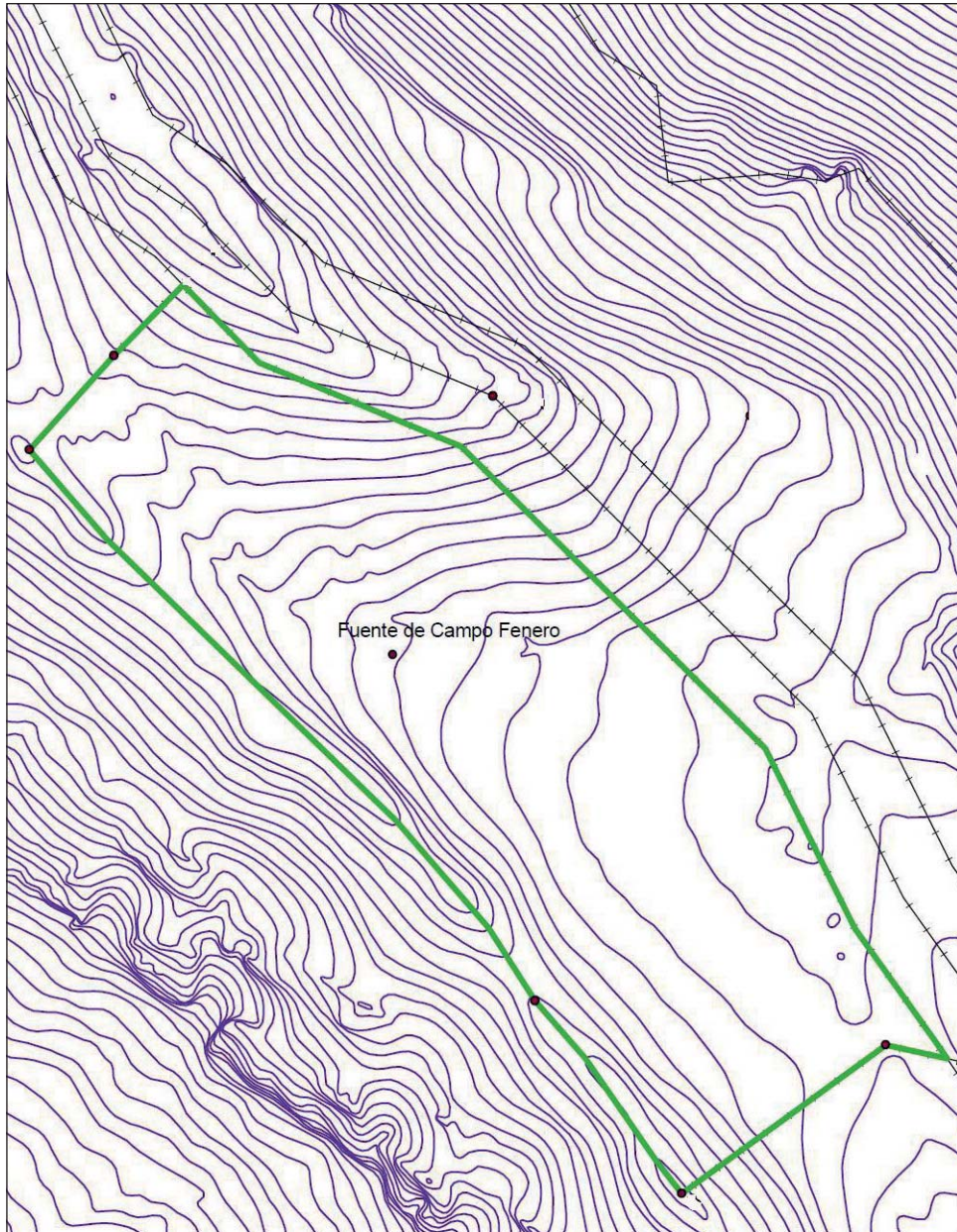
Como se aprecia en la figura 2, el monte se encuentra en la cresta de la sierra de Santo Domingo, por lo que tanto la altitud máxima como la mínima del monte son notables: respectivamente, de 1430 y 1335 msnm. Desde el punto de vista de la pendiente, el monte es en general movido, si bien presenta tres zonas muy distintas: 1) la zona sureste, que corresponde a la parte más llana del pastizal que hay en él, donde la pendiente media ronda el 10%; 2) la zona norte y noroeste, formada por laderas que suben, bien hasta el límite con la provincia de Huesca, bien hasta la divisoria de aguas con el río Arba de Biel, de modo que la pendiente media es más elevada, y ronda el 40%; 3) por último, la zona más occidental es una fuerte pendiente que sube hasta la marcada loma que constituye el límite oeste del monte, con pendientes de entre el 50 y el 70%.

### *Hidrología y geología*

Desde el punto de vista hidrológico, el Campo Fenero se caracteriza, todo él, por ser una microcuenca de alimentación de un pequeño barranco de cabecera de los que conforman el nacimiento del barranco del Arto, el cual es a su vez tributario del barranco de Nofuentes, que constituye uno de los que dan origen al río Asabón. Así pues, el monte constituye una excepción en el término municipal de Biel, puesto que este término se halla en la cuenca del río Arba de Biel (hacia el sur, provincia de Zaragoza), mientras que la pequeña cuenca de Campo Fenero vierte hacia el norte, hacia la provincia de Huesca (fig. 4).

En la zona sureste del monte, donde hay pendientes escasas, se dan modestos fenómenos de endorreísmo, al constituirse con los aportes de la escorrentía superficial pequeñas balsas en las dolinas que se dan en el Campo (SÁNCHEZ MORENO, 2012: 62-63). Precisamente, por la naturaleza caliza del terreno, dentro del monte existe una fuente (Fuente del Campo Fenero), cuyo caudal se mantiene a lo largo del año y que desde antiguo ha proporcionado un abrevadero de gran utilidad para la ganadería extensiva y trashumante, puesto que se halla a una altura (1360 metros) que resulta verdaderamente inusual para las fuentes de caudal permanente, dentro de la sierra de Santo Domingo (fig. 5).

El monte constituye también una excepción desde el punto de vista geológico, ya que la sierra de Santo Domingo está compuesta en su mayor parte por materiales del Mioceno en su parte inferior y del Oligoceno en



**Fig. 4.** Plano del Campo Fenero con curvas de nivel, donde se aprecia que sus límites coinciden con la divisoria de las aguas entre el río zaragozano Arba de Biel (hacia el sur y el oeste) y el oscense Asabón (hacia el norte y el este), al que vierte el Campo íntegramente.



**Fig. 5.** Fuente del Campo Fenero.

las partes superior y media. Sin embargo, el Campo Fenero, al hallarse justamente en la zona de cumbres de la sierra, se ubica en la estrecha franja de materiales más antiguos (eocénicos e incluso triásicos) que se extienden desde la ermita de Santo Domingo hacia el este, y que tienen su continuación en la sierra de Loarre. Así, la cresta que constituye el límite occidental del Campo Fenero, así como la otra que delimita las provincias de Huesca y de Zaragoza al norte del monte, es de naturaleza triásica, del Keuper, con presencia de calizas, calizas dolomíticas y arcillas abigarradas. Las laderas que suben a dichas crestas datan del Cretácico superior, y son de naturaleza caliza, mientras que las calizas que conforman las zonas menos pendientes son paleogénicas, del Eoceno, con las pequeñas manchas cuaternarias que suponen las pequeñas, y abundantes, dolinas (SÁNCHEZ MORENO, 2012: 61-64).

El estado erosivo del monte es moderado o ligero, dado que las zonas de mayor pendiente son las más densamente vestidas de vegetación, mientras

que el pastizal ocupa solo zonas llanas, y aun así el encespedamiento ofrece una protección notable al suelo.

### *Vegetación potencial y actual*

Según la clasificación de J. L. Allué-Andrade, el clima en la zona del monte corresponde a un subtipo fitoclimático VI(IV)<sub>2</sub>, Nemoromediterráneo genuino, lo que se vincula, desde el punto de vista de la vegetación potencial, con un grado fisionómico subesclerófilo ilicino, con marcada tendencia hacia la marcescencia, lo que apuntaría a una vegetación potencial de quejigo (*Quercus faginea*). La caracterización bioclimática, según el método de Rivas Martínez, ubica la zona dentro del rango medio del Piso Supramediterráneo (subpiso, por tanto, supramediterráneo medio).

En cuanto a la vegetación actual, se distinguen tres zonas:

#### *a) Pinar denso de *Pinus sylvestris**

Supone aproximadamente un 28% de la superficie del monte. Se da, sobre todo, en la umbría de la cresta que delimita al monte por el oeste, aunque también en una pequeña zona de la esquina NE. Se corresponde con la asociación *Hylocomio-Pinetosum sylvestris*: un pinar de pino silvestre espontáneo, denso, que constituye vegetación climácica real en la zona, con un sotobosque compuesto principalmente de boj (*Buxus sempervirens*). Dentro del pinar se hallan algunos pies, escasos, de quejigo (*Quercus faginea*). En el sotobosque se presentan, además del boj, algunas otras especies, aunque mucho más escasas, como el enebro (*Juniperus communis*), el escaramujo (*Rosa canina*) o la gayuba (*Arctostaphylos uva-ursi*), o trepadoras como la yedra (*Hedera helix*) o la madreSelva (*Lonicera pyrenaica* ssp. *pyrenaica*).

#### *b) Matorral de boj y erizón*

Supone aproximadamente un 34% de la superficie del monte. Se da especialmente en los márgenes de la zona arbolada, y constituye un denso matorral de boj (a veces con alturas notables, de dos metros o más), mezclado con cojín de monja (*Echinopartum horridum*). A estas especies, muy

preponderantes, acompañan pocas más, como la lavándula (*Lavandula angustifolia*), el enebro y las herbáceas típicas del pastizal que luego se describirá.

c) Pastizal sin arbolado o con arbolado disperso (fig. 6)

Supone aproximadamente un 38% de la superficie del monte. Esta zona se compone de pastos del tipo de la *tasca aragonesa*, esto es, del dominio de la alianza *Mesobromion*, asociación *Mesobromion erecti*, que se diferencia de los pastos más comunes en la zona (que son, en general, de la alianza *Aphyllantion*) en que cuenta con más especies hemicriptófitas, que permiten la presencia de un pastizal siempre verde, incluso en el verano, siendo por tanto de especial valor para la ganadería extensiva, a la cual sirve de agostadero (GÓMEZ SAL, PASTOR y OLIVER, 1988). Las especies herbáceas principales que conforman estos pastos son *Bromus erectus* y *Festuca rubra*. En el pastizal hay pies dispersos de pino silvestre y (muy escasos) de quejigo, así como ejemplares de boj, erizón, escaramujo y zarzamora (*Rubus ulmifolius*).



**Fig. 6.** Vista de la zona de pastizal del Campo Fenero. Al fondo se aprecia la zona de pinar denso de pino silvestre espontáneo.

El propio nombre del monte subraya su valor pastoral, puesto que el apelativo *fenero* deriva del latín vulgar FENARE o FENARIU, formado a su vez a partir del latín FENUM, que designa al heno, esto es, la hierba segada y seca para alimento del ganado (VÁZQUEZ OBRADOR, 1994: 242; GUILLÉN, 2000: 95). Los topónimos *Fenar*, *fenero* o *Campo Fenero* están muy extendidos en el norte de las provincias de Huesca y de Zaragoza, y en el oeste de la provincia de Lérida (VÁZQUEZ OBRADOR, 1991: 156-158; LÍBANO y VILLACORTA, 2013: 58 y 182), y se documenta el uso del término *fenero* en muchos documentos aragoneses medievales y del Antiguo Régimen. Al valor estratégico del Campo Fenero para la ganadería contribuye también el hecho de que el límite este del monte se da con la vía pecuaria denominada *cañada real de Longás a Valdeforno*, paso de ganado que comunica la zona zaragozana de las Altas Cinco Villas con los Pirineos, y que separa el monte del antiguo término municipal de Salinas de Jaca (hoy integrado en el de Las Peñas de Riglos, en virtud del Decreto 4249/1964, de 17 de diciembre), de la provincia de Huesca.

Por otra parte (y aunque los hongos no sean del reino vegetal), cabe señalar que el Campo Fenero es una zona privilegiada para la recolección de setas, puesto que se dan, antes que en muchas otras zonas, los champiñones o *guisanas*, como se los conoce en Biel (*Agaricus campestris*), los *rebollones* (*Lactarius deliciosus*) o las senderuelas (*Marasmius oreades*).

#### EL CAMPO, PROPIEDAD DEL MONASTERIO DE SAN JUAN DE LA PEÑA: EL PLEITO CON BIEL EN 1733

El real monasterio de San Juan de la Peña obtuvo la propiedad del Campo Fenero del rey Pedro II de Aragón. En nuestra comunicación al Congreso Forestal Español sugeríamos que podría haberla obtenido de una de las donaciones mencionadas por UBIETO (1986: 1101), según el cual en dos ocasiones (1301 y 1428) los reyes de Aragón donaron el término de Salinas de Jaca al monasterio. Corregimos esa afirmación en este artículo, puesto que, por un lado, la antigua pardina o coto redondo de Nofuentes (a la que se vincula el Campo, como veremos) no se incorpora al término de Salinas hasta una fecha tan avanzada como 1846, en que se agregan a él, procedentes del término de Longás, las pardinas de Montañano, Nofuentes y Sierra Alta (PÉREZ-SOBA y SOLÁ, 2004: 365, n. 579). Y, por otro lado,

LAPEÑA (1989: 121) y LALIENA (2012: 426) mencionan que Pedro II obtuvo en 1206 la propiedad de Obelba (hoy, Salvatierra de Esca) por una permuta con el monasterio, el cual consiguió a cambio la pardina de Nofuentes, junto con otras localidades (Mianos, Fañanás, Villalangua, Gabás, Villamuerta, Bayetola y Biart, más la honor de Cercastiel).

La *pardina*, como es sabido, es un tipo tradicional de explotación agrícola, forestal y ganadera, muy típica del Pirineo y del Prepirineo aragonés, concretada en una finca más o menos extensa vinculada a la economía de subsistencia de un caserío o una pequeña población (UBIETO, 1987). El monasterio de San Juan de la Peña era dueño de varias pardinas en Longás: además de las tres antes mencionadas, poseía también al menos las de Salafuentes y Sangorrín (UBIETO, 1986: 1095 y 1141-1142) y la de Ferrera o Ferrara, colindante con Nofuentes (MIÑANO, 1826: 137). Salafuentes y Sangorrín son actualmente dos montes de utilidad pública propiedad de la Comunidad Autónoma de Aragón (los números 305 y 401, respectivamente, del *Catálogo de Montes de Utilidad Pública de la provincia de Zaragoza*), mientras que la pardina de Ferrera es hoy de propiedad privada. El antiguo término o coto redondo de Nofuentes, que aún figuraba con ocho habitantes en el nomenclátor nacional de poblaciones del año 1930 (LAPLANA, GAVÍN y CAMPO, 2005: 342), se corresponde con el actual monte llamado *pardina de Nofuentes* (que es también un monte de utilidad pública propiedad de la comunidad autónoma, el número 361 de los de la provincia de Huesca), en cuyo topónimo se conserva la referencia a su origen.

No obstante, en 1064, el rey de Navarra, Sancho Garcés IV, había donado a favor del pueblo de Biel los montes de su término, donación confirmada el 22 de agosto de 1499 por Alonso de Aragón, arzobispo de Zaragoza, y certificada, a su vez, por la Corte del Justicia de Aragón el 26 de mayo de 1625, según se conserva en una copia realizada en 1890, que se conserva en el Archivo Municipal de Biel, y que es citada por GIL y AURÍA (2007: 383).

En las indefiniciones de estas dos donaciones es donde nacen las polémicas que durante siglos afectarán al Campo Fenero, enfrentando al pueblo de Biel con los sucesivos propietarios de la pardina de Nofuentes. En efecto, la pardina está, como se ha dicho, separada del Campo Fenero por la cañada real de Longás a Valdeforno, pero la especial ubicación hidrológica del Campo, antes descrita, hace que resulte comprensible, incluso intuitivo,



considerar este como parte de la pardina, cuyo límite aparentemente *natural* sería la divisoria de las aguas de los ríos Asabón y Arba de Biel. Súmese esta peculiar ubicación con el especial valor pastoral de ese campo para las ganaderías locales, y se comprenderá bien cuanto sigue.

El pleito (al menos formal) más antiguo del que tenemos noticia que afecte directamente al Campo Fenero data de 1733. Está extractado en el expediente de deslinde de los siete *pacos* (umbrías) del Ayuntamiento de Biel, al que aludiremos muy pronto. En una minuta adjunta al acta número tres del deslinde, fechada el 21 de septiembre de 1863, se expresa que doña Isidra Fanlo, propietaria entonces de la pardina de Nofuentes, aportaba copia compulsada de una firma posesoria ganada en 1733 por San Juan de la Peña contra la villa de Biel, que se copió en dicha minuta del modo siguiente:

La Sentencia de la firma posesoria está redactada en estos términos: Siendo a nuestro intento tan puntual, como que por el mismo privilegio de que se vale Biel aparece no puede ser parte de sus términos este campo; luego habrá de considerarse por de la Pardina pues sobre permitirlo la mojonación, no hay otro distinto territorio a que se pueda incorporar. En la misma firma se dice que Biel presentó la donación que de sus montes le hizo el rey D. Sancho abuelo del Rey D. Alfonso [que] dice que el límite Norte va desde Santa Engracia a Puy de Rey desde ahí a Campo Fenero.

Obsérvese que ya desde este pleito resulta evidente que se producía una confusión entre dos conceptos jurídicos esencialmente distintos: la jurisdicción administrativa y el dominio o propiedad. En principio, el límite de la jurisdicción de cada Ayuntamiento simplemente señala el alcance geográfico del ejercicio de las competencias que le corresponden como Administración Pública territorial, y nada tiene que ver con la propiedad de los terrenos, públicos o privados, que resulten incluidos dentro de dicha jurisdicción. Pero, como hemos señalado en otras publicaciones (PÉREZ-SOBA, 2009: 340; 2012: 111-113), fueron muchos los casos en la provincia de Zaragoza (y, probablemente, en toda España) en los que todos los afectados entendieron (sin razón jurídica, en realidad) que junto con la jurisdicción, se determinaba el dominio. Pero este malentendido, aunque sea teóricamente incorrecto, al ser aceptado por ambas partes es a su vez generador, para la parte beneficiada —en este caso, el monasterio— de derechos de propiedad sobre los bienes disputados, puesto que se le ampara en su posesión, ante lo que se aquieta, al menos forma y aparentemente, el derrotado en el pleito.

EL CAMPO, PROPIEDAD DE LOS COMPRADORES  
EN LA DESAMORTIZACIÓN Y DE SUS HEREDEROS

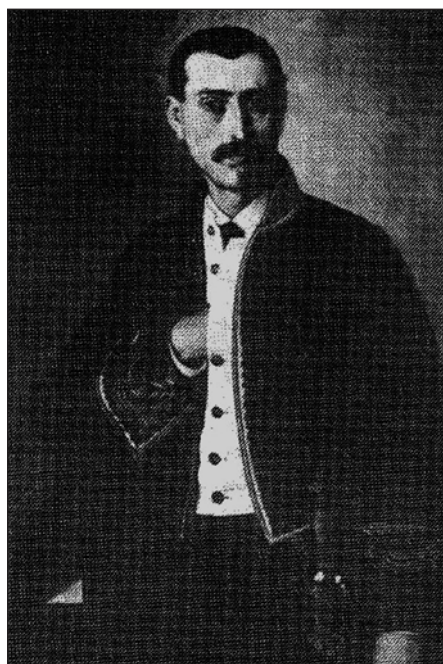
*La venta de la pardina de Nofuentes (1839)*  
*y el deslinde de los siete pacos de Biel (1863)*

A causa de la desamortización eclesiástica iniciada en 1836-1837 por el ministro Juan Álvarez de Mendizábal, fue extinguido de manera forzosa el monasterio de San Juan de la Peña, siendo todos sus bienes incautados por el Estado para su venta a particulares. En concreto, sabemos por PALACÍN (1997: 166-167) que dos de las antiguas pardinas del monasterio en Longás (Nofuentes y Montañano) fueron vendidas a favor del vecino de Salinas de Jaca don Cándido Navarro en la subasta que, anunciada en el *Boletín Oficial de Venta de Bienes Nacionales de la provincia de Huesca*, n.º 12 de 1839, fue celebrada el 22 de febrero de ese año en Huesca, en el juzgado de don José Ponce de León. Aprobado definitivamente el remate el 2 de abril siguiente, se extendió escritura de venta ante el escribano de la misma ciudad don Florencio Romero.

El deslinde de los siete *pacos* de Biel (que se conserva en el Archivo del Servicio Provincial de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente de Zaragoza, del Gobierno de Aragón) constituye la siguiente ocasión en que Biel pugna por la propiedad del Campo, ahora contra los compradores del monte en la desamortización. Estos siete *pacos*, que se corresponden con los actuales montes de utilidad pública números 181 al 187 de los de la provincia de Zaragoza, formaban (al ser colindantes entre sí) un conjunto conocido como *Monte Alto* que conforma la parte norte del término municipal de Biel, la que linda con el Campo Fenero y con la provincia de Huesca. El origen del deslinde de los *pacos*, sin embargo, no tenía nada que ver con el Campo Fenero, sino con la incautación y venta por el Estado, en la desamortización civil derivada de la llamada *Ley Madoz* (ley de 1 de mayo de 1855) de dos montes del Ayuntamiento de Biel, denominados *Monte Blanco* y *Foriellas* o *Foriellos*. Ambos fueron vendidos a particulares en 1861, pero los límites que se hacían constar en las enajenaciones eran extremadamente confusos, y aparentemente se solapaban con el Monte Alto, que en principio no había sido incautado. Ello motivó que en 1862 el comprador de los montes (Joaquín Marín, vecino de Zaragoza) presentara un interdicto judicial contra los pastores que entraban en los *pacos* de Biel,

suscitándose un conflicto entre el juez de primera instancia de Sos del Rey Católico y el Gobierno Civil de Zaragoza, que llegó hasta el Consejo de Ministros, el cual, finalmente, resolvió a favor del juzgado por Real Decreto de 12 de julio de 1865 (*Gaceta de Madrid*, n.º 214, de 2 de agosto). Mientras, el gobernador civil ordenaba en 1863 una nueva medición de los montes vendidos en 1861, que se concretó en un deslinde perimetral de los siete *pacos* de Biel, que practicó ese mismo año don José Jordana y Morera (fig. 7), uno de los más brillantes ingenieros de Montes españoles de todo el siglo XIX (véase sobre su vida y obra, por ejemplo, GONZÁLEZ ESCRIG, 2002: 149-165). Jordana era entonces jefe (y único ingeniero, dicho sea de paso), del Distrito Forestal de Zaragoza.

Las operaciones de deslinde se practicaron con notable diligencia y eficacia, y acabaron el 23 de septiembre de 1863, concluyendo que el Monte



**Fig. 7.** Retrato de don José Jordana y Morera (1836-1906), uno de los más brillantes ingenieros de Montes del siglo XIX, y que fue ingeniero operador del deslinde de los siete *pacos* de Biel en 1863. Fuente: GONZÁLEZ ESCRIG (2002: 151).

Alto era distinto de los montes enajenados, en especial del Monte Blanco, por lo que el comprador debía cesar en los impedimentos puestos a los pastores. No debió gustar mucho esa conclusión al gobernador, pues, aunque el expediente se remitió al Gobierno Civil para su resolución el 26 de noviembre siguiente, no solo no consta la aprobación final, sino que un oficio del gobernador de 3 de julio de 1867 comunica al Distrito Forestal que se ha extraviado el deslinde completo. Estos *extravíos*, u otros mecanismos dilatorios, eran maniobras fraudulentas desgraciadamente frecuentes en los Gobiernos Civiles decimonónicos, como nos demuestran reiteradas e indignadas denuncias de los ingenieros de Montes de la época. Valga esta por todas: “Tal disposición [el Reglamento de Montes de 1865]... no puede menos de resultar deficiente [para los deslindes], no solo por lo dilatorio del procedimiento que hay que seguir, sino también por la excesiva participación que da a las autoridades y centros provinciales, tan expuestos a dejarse influir por el caciquismo político local” (FERNÁNDEZ DE CASTRO, 1895: 2).

No obstante, a los efectos que nos ocupan, lo relevante es lo que se dice en las actas n.º 2 y n.º 3 del deslinde, fechadas el 20 y el 21 de septiembre de 1863. En la primera ya se hace referencia al Campo Fenero, en una controversia sobre el límite entre el monte de Biel y el de Luesia (Zaragoza). Los representantes del segundo pueblo pretendían que el mojón trifinio entre Biel, Luesia y Salinas debía llegar hasta el mismo Campo, mientras que los del primero sostenían que se hallaba más hacia el oeste. Jordana dio en este caso la razón a Biel: “expusieron los delegados del Ayuntamiento de Biel, sin objeción de parte alguna... que no solo debe entenderse por fenero el prado natural que se conoce como Campo Fenero, a cuyo punto pretenden que se dirija la línea divisoria los representantes de Luesia, sino que también las inmediaciones... Colocose el mojón núm.º 2 en el corpillar (?) de Campo fenero siguiendo los bancos de roca sin reclamación alguna”. Significativamente, ese día Jordana suspende las operaciones justo al llegar al Campo, quizá dejando para el día siguiente una polémica esperada que requería examen detenido. Y es que en el acta del día 21, nada más iniciarse las operaciones, se expone una controversia entre los representantes de Biel y doña Isidra Fanlo, viuda del antes referido don Cándido Navarro:

Fundándose los comisionados de Biel en que el sitio llamado Campo fenero había sido poseído por los vecinos de dicha villa cultivándole repetidas veces sin obstáculo alguno por parte de los propietarios de la pardina de

Nofuentes, pretendieron que la línea perimetral [del monte del Ayuntamiento de Biel] incluyese dentro de la jurisdicción el referido campo, colocando el mojón n.º 3 en el punto donde [finalmente] se colocó el n.º 5. D.<sup>a</sup> Isidra Fanlo actual poseedora de la pardina de Nofuentes dijo: que le pertenece otra pardina por haberla adquirido del Estado su difunto esposo D. Cándido Navarro en la subasta celebrada en 22 de febrero de 1839. Que el paraje llamado Campo fenero forma parte de otro predio según lo hace constar por la firma posesoria que presenta ganada en el año 1733 por el Real Monasterio de San Juan de la Peña contra la villa de Biel, de cuyo documento acompañará compulsas en lo necesario para aclarar este extremo.

Aquí sigue la minuta adjunta a la que hemos hecho referencia, que reproduce la sentencia de 1733, la cual obra un efecto decisivo, moviendo a Jordana a dar la razón a la señora Fanlo:

y teniendo presente el Ingeniero la validez incuestionable de las reclamaciones de la colindante, resolvió excluir Campo fenero de la jurisdicción de Biel, colocando el mojón n.º 3 en el vértice occidental de la pequeña tierra que circunda a Campo fenero, el mojón n.º 4 en la misma tierra y vértice oriental y el mojón n.º 5 al comenzar la loma del solano del corpillar de Campo fenero. Los representantes de Biel insistiendo en lo que expusieron en un principio manifestaron que protestaban la parte del deslinde que se refería a este punto, sin que tuviesen nada que advertir ni reclamar en lo subsiguiente.

Nuevamente se aprecia la insistencia en discutir sobre la línea de término municipal, entendiéndola coincidente con la de propiedad, y siguiendo el mismo error jurídico en que se basa la sentencia de 1733. Ello explica la insistencia con que todas las partes insisten en hablar de la jurisdicción, cuando debieran referirse a la propiedad (o más exactamente, a la posesión, ya que el deslinde es un acto posesorio).

Quedó ahí, de momento, la polémica, dado que, como se ha dicho, el deslinde practicado en 1863 no obtuvo sanción oficial. Pero era solo el primer asalto.

### *Los deslindes jurisdiccionales de 1872 y de 1926, y el pleito de 1880-1888*

En 1872, se realizó un nuevo deslinde de los límites jurisdiccionales de Biel y de Salinas de Jaca, practicado por el perito agrónomo don Timoteo Gaztalu, levantándose acta el 25 de abril de 1872, con presencia de don Pedro Castán, representante de doña Isidra Fanlo. Consta todo ello en una

certificación expedida por el secretario del Ayuntamiento de Biel el 4 de mayo de 1882, que a su vez fue reproducida por otra de 10 de marzo de 1955, que se conserva en el Archivo del Servicio Provincial de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente de Huesca.

En este deslinde (que, al menos en la versión reproducida en la certificación, es muy poco detallado) parece incluirse el Campo Fenero dentro de la jurisdicción de Biel, sin protesta alguna por el representante de la señora Fanlo. Pero este deslinde, lejos de aclarar el problema, solo lo agravó: en primer lugar, en la misma certificación de 1882 se hace constar que, aunque el expediente había sido remitido al gobernador para su superior aprobación, no constaba que esta se hubiera producido. Y, por otro lado, cada parte consideró confirmado su propio interés, ya que el Ayuntamiento creyó que se había reconocido su posesión, mientras que la dueña de la pardiña de Nofuentes comprendió correctamente el mero alcance administrativo y jurisdiccional del acto.

Esta divergencia quedó clara no mucho después: en 1880, un pastor llamado Joaquín Pérez, que aprovechaba los pastos del Campo Fenero por haberlos arrendado a la señora Fanlo, es denunciado ante el Gobierno Civil por el Ayuntamiento de Biel, que entendía que el Campo era municipal, y que dicho pastoreo constituía, por tanto, un aprovechamiento sin licencia en monte público. En virtud de esa denuncia, el 21 de mayo de ese año el gobernador civil impone una multa al pastor, pero doña Isidra Fanlo alegó, al saberlo, que el Campo era de su exclusiva propiedad particular, de modo que la sanción fue revocada por el gobernador el 30 de noviembre siguiente. El Ayuntamiento recurrió dicha revocación ante el Ministerio de Fomento, y la Dirección General de Agricultura, Industria y Comercio resolvió indicar al Gobierno Civil que se ultimara el deslinde practicado en 1863 (lo que no se hizo), manteniéndose mientras el estado posesorio a favor de la señora Fanlo. El Ayuntamiento de Biel solicitó entonces al gobernador la práctica de un nuevo deslinde, considerando que habían variado las circunstancias desde 1863, por haber sido descubiertas nuevas *mugas* (mojones consuetudinarios) y haberse hecho el deslinde de términos en 1872. El Ayuntamiento también pedía que, hasta la aprobación del nuevo deslinde, se le diera la posesión del monte. Sin embargo, el gobernador denegó todas las peticiones municipales el 15 de noviembre de 1883, por lo que el

Ayuntamiento inició pleito contencioso, aunque sin éxito: la Sentencia de la Comisión Provincial de Zaragoza de 16 de marzo de 1885 desestimó las pretensiones del Ayuntamiento, y aunque este apeló ante el Consejo de Estado, finalmente abandonó el pleito. Por ello, el Real Decreto de 9 de julio de 1888 (publicado en la *Gaceta de Madrid*, n.º 10, de 10 de enero de 1890, y de cuya exposición de antecedentes tomamos estas noticias) declaró consentida y firme, por dejación, la sentencia de primera instancia, manteniendo, por tanto, en la posesión a la señora Fanlo, la cual, de nuevo, tomaba clara ventaja en lo que se refiere a derecho de propiedad, con total independencia de la jurisdicción municipal, y aun provincial, en que se hallara el Campo.

Por eso, el definitivo deslinde de los términos de Biel y de Salinas, que por fin practica el Instituto Geográfico Nacional mediante acta de 4 de junio de 1926 (y mediante levantamiento topográfico de 30 de julio siguiente para dar plasmación gráfica a lo acordado en el acta) deja claramente el Campo Fenero dentro del término de Biel. Todo ello sin polémica, pero con algunos detalles que sugieren un particular interés en dejar especialmente marcados los límites sobre el terreno, como el de que se practicaran inscripciones en roca, aún hoy visibles (fig. 8), medida poco frecuente.



**Fig. 8.** A la izquierda, el autor de este artículo, junto a una de las rocas nativas del terreno que constituyen un mojón de la línea de términos municipales de Biel y de Las Peñas de Riglos (antes, de Salinas de Jaca), y en la que se practicaron en 1926 inscripciones con escoplo. A la derecha, detalle de la inscripción: una B mayúscula, inicial de *Biel*.

Aunque el acta de deslinde jurisdiccional de 1926 fue complementada por otra adicional de 25 de mayo de 1966, y ambas anuladas y sustituidas por otra acta completa de nuevo deslinde de términos fechada el 8 de marzo de 1976, estas dos últimas son meros formalismos. La de 1966 se limita a actualizar el nombre del término municipal de Salinas de Jaca, que había pasado a ser de Las Peñas de Riglos desde 1964, como se ha dicho antes. Y el acta de 1976 no es más que una refundición y reenumeración del acta de 1926, siendo, incluso, improbable que se recorrieran, realmente y sobre el terreno, los mojones reconocidos cincuenta años antes, ya que no se hace un nuevo itinerario topográfico, y las actas están fechadas en la casa consistorial, no en el monte.

Por ello, la atribución del Campo al término de Biel pasó a ser firme. Pero, nuevamente, en nada ayudó eso a resolver la polémica entre el pueblo zaragozano y los propietarios de la pardina de Nofuentes. De particular valor es el testimonio recogido por el veterinario y periodista Ignacio Almudévar, en uno de sus escritos costumbristas (ALMUDÉVAR, 2011), en el que describe el estado del Campo, sin precisar la fecha (¿quizá en la década de 1930?):

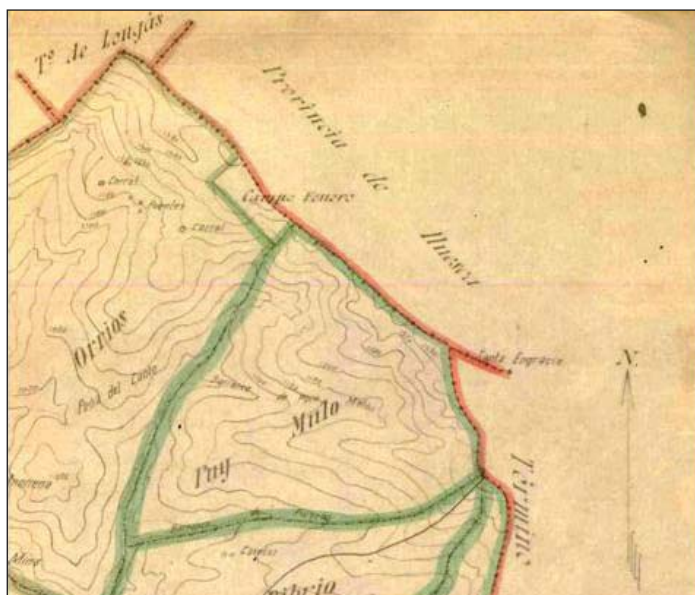
Estaba el campo Fenero, que abundaba en yerba y más tarde en heno, ya que su dueño Don Telmo Lacasa, no lo cultivaba y nacía en medio de él una fuente, que no desviaba sus aguas hacia el Arba, sino que discurrían hacia la pardina de Nofuentes, también de su propiedad, en la que disponía de tres casas. Este campo de Fenero era disputado por los vecinos de Biel, de la provincia de Zaragoza, a Don Telmo, que estaba en Madrid por ser el presidente de los Ferrocarriles Españoles.

Esta referencia a don Telmo Lacasa nos da pistas sobre las sucesivas transmisiones de la propiedad. Telmo Lacasa Navarro fue un ingeniero de Caminos, Canales y Puertos que vivió durante unos años en Huesca (luego, en efecto, residió en Madrid), si bien no fue “jefe de los Ferrocarriles Españoles”, sino que ocupó, entre otros cargos, el de jefe de la Comisión de los Ferrocarriles Transpirenaicos. Estaba casado con doña María Navarro Balmori, hija a su vez del oscense don José Navarro Fanlo (PÉREZ VALLE, 2012), muy probablemente hijo de doña Isidra Fanlo (a quien hemos visto defendiendo con ahínco su propiedad sobre el Campo Fenero entre 1863 y 1888) y de don Cándido Navarro (adquirente del Campo en 1839). Por tanto, el dueño del Campo no sería en realidad el señor Lacasa, sino su esposa. Y,



probablemente, tampoco en su totalidad, porque en el acto de compra del monte por el Patrimonio Forestal del Estado en 1954 (al que nos referiremos enseguida), consta que la mitad indivisa del monte correspondía a quienes lo habían adquirido de doña Elvira Navarro Balmori, por lo que lo más probable es que ambas hermanas fueran dueñas por partes iguales e indivisas del Campo y de la pardina.

El texto de Almudévar también nos indica que la situación posesoria no había variado: los dueños, de todos conocidos, seguían siendo los herederos de Cándido Navarro; por su parte, el pueblo no cejaba en sus reivindicaciones. Es significativo también, en este sentido, el modo en que el Campo Fenero figura en el plano elaborado por el Distrito Forestal de Zaragoza en septiembre de 1935 para formar un Proyecto de repoblación de los montes de Biel: en este plano (fig. 9), el Campo, aun figurando dentro del término de Biel, es cuidadosamente distinguido de los colindantes *pacos* municipales denominados *Puy de Mulo* (monte de utilidad pública número 186) y *Nuestra Señora de Orrios* (monte de utilidad pública número 182).



**Fig. 9.** Detalle del plano formado en 1935 por el Distrito Forestal de Zaragoza para un proyecto no ejecutado de repoblación forestal de los montes de Biel.

La aguada verde, que delimita los montes de utilidad pública municipales, excluye cuidadosamente el Campo Fenero.

## EL CAMPO, PROPIEDAD DEL PATRIMONIO FORESTAL DEL ESTADO (PFE)

*La compra por el PFE (1954)*

Mediante escritura de compraventa voluntaria suscrita ante el notario de Huesca, don Santiago Navarro Berdún, el 24 de septiembre de 1954 (n.º 1083 de su protocolo), el Patrimonio Forestal del Estado (PFE) adquirió al matrimonio formado por don Enrique Gil Navarro y doña María del Carmen Calvo Ezquerro, así como a los hermanos don Fernando, don Eduardo y don Ramón Lacasa Navarro (estos tres, hijos de Telmo Lacasa), el pleno dominio de la pardina de Nofuentes, y del Campo Fenero. Como es sabido, y hemos tenido ocasión de exponer en otros trabajos (valga por todos PÉREZ-SOBA, 2010: 79-82), el PFE era un organismo dependiente del Ministerio de Agricultura (con rango de Dirección General independiente de la de Montes), creado en 1935 y refundado en 1941, que contaba con personalidad jurídica y autonomía económica y estaba encargado de la tarea de restaurar, conservar e incrementar la propiedad forestal del Estado, es decir, de adquirir terrenos o derechos sobre ellos para proceder a repoblarlos, conservarlos y gestionarlos. La acción del PFE supuso la labor de repoblación forestal más importante de la historia de España y una de las mayores del mundo, además de la recuperación de una notable parte de la propiedad pública forestal: adquirió entre 1941 y 1971 (fecha en la que es sustituido por el ICONA) un total de 1540 fincas, que suponían 558 465 hectáreas, lo que fue un incremento del 176% con respecto a los montes del Estado que existían en 1941 (PÉREZ-SOBA, 2013b: 66).

Así pues, hasta el pequeño y apartado monte de Campo Fenero llegaba de nuevo la aplicación de grandes políticas de ámbito nacional: tras ser afectado muy directamente por la desamortización de Mendizábal, indirectamente por la de Madoz, y levantarse una polémica durante la aplicación de las demarcaciones municipales contemporáneas, ahora era objeto de los amplios trabajos de repoblación forestal y recuperación de la propiedad pública que tan habituales fueron en el período 1940-1980. La pardina de Nofuentes, por su notable extensión (1106 hectáreas según el plano levantado por el PFE para la compra), su estado fundamentalmente deforestado y su ubicación hidrológica, era un monte de evidente interés para la labor repobladora del PFE. Por parte de la propiedad, se observa que está ya algo fragmentada (hay cinco copropietarios indivisos), y probablemente era una

buena oportunidad para vender una finca que siempre había resultado polémica, recibiendo, además, un precio generoso (1 346 000 pesetas, es decir, a 1203 pesetas/ha). Parece claro que el interés principal del PFE se centraba en la pardina, pero en la venta se incluye, como es lógico, el Campo.

Este, en la escritura de compraventa, es llamado “una porción de monte... formando parte integrante de la Pardina”, y la descripción de límites (que se copia de un documento anterior de herencia) resulta curiosa:

sita en el término municipal de Biel, provincia de Zaragoza, que con la cabida de 13 Has. tiene la forma aproximada de un trapecio, cuyas bases miden 600 y 730 metros y cuya altura es de 200 metros; la base mayor de este trapecio es límite de esta finca con la Pardina de Nofuentes, y sigue la línea límite de las provincias de Zaragoza y Huesca, y los otros tres lados del trapecio sirven de límite con el monte número ciento ochenta y seis de los de utilidad pública llamado Puy de Mulo de la pertenencia de Biel, y sigue las divisorias de aguas entre los ríos Asabón y Arba de Biel, según la línea de deslinde dicho monte practicada en el año 1872.

No se entiende la referencia al “deslinde del monte” de 1872, puesto que no consta ningún deslinde de los montes públicos de Biel en ese año (sino en el de 1863, como se ha dicho), y el deslinde practicado en 1872, ni es de monte (sino de término municipal), ni delimita dichas divisorias. En todo caso, llama la atención la precisión con que se indica la geometría del Campo, lo que demuestra que había sido objeto de una medición topográfica. Como luego se repetirá, en 2011 hicimos una medición del Campo con tecnología GPS, obteniendo unos valores de cabida y de longitud de lados muy parecidos a los consignados en la escritura de 1954. Muy significativamente, en el acto de compraventa los vendedores aportan también al notario, a efectos de su protocolización, un ejemplar de la *Gaceta de Madrid* en el que se publicó el Real Decreto de 9 de julio de 1888, al que antes hemos hecho referencia.

Esta adquisición generó la primera inscripción registral de la finca Campo Fenero, en el Registro de la Propiedad de Sos (hoy, de Ejea de los Caballeros), a nombre del Patrimonio Forestal del Estado, el 11 de junio de 1955. No debe extrañar que el monte no fuera inscrito en el Registro con motivo de su venta por el Estado, puesto que, como se ha visto, esa venta se produjo en 1839, antes de la creación de los registros civiles en España, que se produjo por la Ley Hipotecaria de 1 de febrero de 1861.

*Estalla la polémica entre el Ayuntamiento de Biel y el PFE*

El 27 de enero de 1955, el alcalde de Biel dirigió una carta a don Miguel Navarro Garnica, jefe de la Brigada de Aragón del Patrimonio Forestal del Estado (PFE), quien había firmado la escritura de compra de la pardina de Nofuentes y del Campo Fenero. Navarro Garnica fue un eximio ingeniero de Montes, de los más brillantes del siglo XX en España, que destacó en ámbitos muy diversos (en su día publicamos un breve resumen de su biografía en PÉREZ-SOBA, 2010: 96, n. 197). No deja de ser curioso que dos ingenieros de Montes de relevancia nacional se vieran en dos ocasiones (José Jordana en el siglo XIX, Miguel Navarro en el XX) directamente encargados de aclarar la propiedad del Campo Fenero.

El alcalde exponía que había tenido conocimiento del próximo inicio de la repoblación forestal de la pardina de Nofuentes, y afirmaba que sobre ella tenían derecho de alera foral los ganados de Biel:

En esta pardina, trozo comprendido entre la Sierra llamada Campo Fenero hasta la casa de la Pardina, han pastado desde tiempo inmemorial los ganados de Biel, indistintamente con los de Salinas, y, principalmente, han abrevado, por ser el único lugar [en] que existe agua, en bastante distancia a la redonda. Es decir, en realidad se trata de un derecho de alera foral. Por ello me permito dirigirme a Vd. con el fin de solucionar este asunto, principalmente por lo que se refiere al agua, puesto que en otro caso el perjuicio sería incalculable. Por otra parte, el trozo de terreno que se sustraería a la repoblación forestal, respetando el derecho de abrevadero, sería insignificante.

La alera foral, como es bien sabido, es una modalidad de pastos característica del Reino de Aragón, que tiene su origen en la Edad Media, y que consiste en la facultad recíproca que tienen los vecinos de dos o más pueblos colindantes de introducir sus ganados a pastar (sin exclusividad) en los términos contiguos a los suyos bajo ciertas limitaciones de espacio y tiempo, condensadas en el apotegma “De sol a sol y de era a era”; esto es, que los ganados ajenos al término puedan pastar en este hasta las eras del vecino pueblo con la condición de que no partan de sus propias eras antes de la salida del sol y debiendo haber regresado a las mismas antes de que este se haya puesto (FAIRÉN, 1951; PÉREZ-SOBA y SOLÁ, 2004). Por tanto, y en contra de lo afirmado por el alcalde de Biel, el derecho de abrevar no está necesariamente ligado a la alera foral: la praxis varía según los lugares, en algunos de los cuales va ligado, efectivamente, al de pacer en régimen de alera,

pero en otros muchos no es así. El derecho de abrevar se puede configurar, pues, como un derecho o servidumbre accesoria a la de pastos, o bien como un derecho real independiente.

La contestación de Navarro Garnica fue diligente; el 4 de febrero siguiente, escribe:

me asombra la existencia de otra alera foral sobre el monte de Nofuentes de la cual no tenía ninguna idea, pues así como los de Longás me lo habían hecho saber, de Vds. no sabía nada. Veo que lo que más les interesa a Vds. es el problema del abrevadero, del cual tampoco consta nada en ninguno de los documentos que hemos manejado para la adquisición de la finca, y me interesaría darle a esto forma legal para que quedaran Vds. con sus derechos y evitar discusiones futuras. Por lo tanto, convendría que rebuscaran por Secretaría... los documentos sobre estas cuestiones. Por otro lado, avisaremos al encargado para que de acuerdo con algún guarda o persona enterada mande señalar el paso que hemos de respetar para el abrevadero, y lo dejaremos, desde luego, sin plantar hasta ver cómo se resuelve la cuestión. Pero le repito que nos sería muy interesante el que Vds. dispusieran de documentos probatorios para poder presentar en Madrid. Por otro lado, me gustaría saber si, a su vez, los ganados de la Pardina de Nofuentes tenían algún derecho de abrevadero en término de Biel para que también lo pusiéramos al día y lo ordenásemos.

Esta contestación del jefe de la Brigada del PFE, además de extremadamente prudente, conciliadora y comprensiva con las necesidades de la población local, era muy atinada en lo jurídico. En efecto: el alcalde no presentaba prueba alguna de la existencia y vigencia de esa servidumbre (y de hecho, como veremos, luego presentó pruebas muy débiles), así que le rogaba una prueba documental mínima. Por otra parte, su pregunta sobre la posible reciprocidad de derechos a favor de Nofuentes era totalmente procedente: la regulación histórica de la alera en los Fueros y Observancias del Reino de Aragón consideraba elemento esencial de la alera foral su reciprocidad, es decir, partía siempre de la base de que era un derecho de pastos en término ajeno que dos o más pueblos se reconocían mutuamente. Sin embargo, ya en los siglos XVI y XVII se constataban aleras no recíprocas, que fueron siendo cada vez más por variadas causas históricas: desde la simple dejación de su derecho por alguna de las partes, a la pérdida forzosa durante la desamortización civil, que traspasó a manos particulares gran número de montes comunales, sin que se hiciera constar en el boletín de venta el gravamen de alera (FAIRÉN, 1951: 190-191; PÉREZ-SOBA y SOLÁ, 2004:

236-237). En este caso, de hecho, no se probó la existencia de reciprocidad a favor de Nofuentes, ni el PFE insistió en ello.

Por último, la alusión que Navarro Garnica hace al pueblo de Longás demuestra que ese pueblo sí había reclamado de manera diligente la titularidad de una alera sobre Nofuentes. De hecho, parece que era Longás el pueblo que históricamente había ejercido más ese derecho, ya que resulta significativo que en la escritura de venta en la desamortización de las pardinas de Nofuentes y de Montañano se hiciera constar que “estas fincas tienen contra sí y a favor del pueblo de Longás y otros la carga de alero, reconocido en el Expediente instruido al efecto por su comprador y valorado por los peritos a virtud de Orden de la Junta de Bienes Nacionales” (PALACÍN, 1997: 166). Se menciona, por tanto, de manera explícita a Longás, mientras que Biel, como mucho, puede ser aludido por ese impreciso “y otros”. Puede llamar la atención que Longás fuera titular de una alera sobre Nofuentes, cuando esta pardina no linda con el término de Longás, siendo, como se ha dicho, condición necesaria de la alera el que se trate de términos colindantes. Sin embargo, está documentada la existencia de aleras forales a favor del pueblo de Longás sobre al menos cuatro de las pardinas del monasterio antiguamente sitas en dicho término: Nofuentes y Montañano (como hemos visto), pero también sobre Salafuentes y Sangorrín (PÉREZ-SOBA y SOLÁ, 2004: 363-365). Parece plausible, por tanto, que todas las pardinas del monasterio en el antiguo término de Longás tuvieran en el pasado servidumbre de alera foral a favor de los pueblos limítrofes, y del propio pueblo de Longás, ya que al ser propiedades del monasterio estaban fuera de la jurisdicción civil del Concejo o municipio, y bajo la jurisdicción eclesiástica.

El 14 de marzo de 1955, el alcalde de Biel envía una nueva carta al PFE, sorprendentemente agresiva, en la que ya sale a relucir el Campo Fenero. Manifiesta que, tras examinar el archivo de ese Ayuntamiento, han hallado bastantes antecedentes de los que han sacado “sin ningún género de dudas” unas conclusiones que, sin embargo, de su simple lectura resultan en realidad más que dudosas:

La propiedad de Campo Fenero ha venido discutiéndose desde la adquisición de la Pardina de Nofuentes por D.<sup>a</sup> Isidra Fanlo, en el siglo pasado. No obstante, esta propiedad se ha inclinado siempre del lado de Biel. Hemos

hallado un dictamen de dos abogados en el siglo pasado (1891) en el que expresan que no existe duda alguna de que corresponde a este Ayuntamiento. Al parecer, y según una carta que hemos hallado, antes de entrar en pleito D.<sup>a</sup> Isidra Fanlo y este Ayuntamiento llegaron a un acuerdo amistoso, que no sabemos en qué consistió porque no hay más antecedentes, pero puede deducirse fácilmente, dado que en ningún momento han dejado de pastar en dicho campo tanto los ganados de Biel como los de la propietaria de la expresada Pardina.

Hacía alusión igualmente al deslinde de términos practicado en 1872 al que hemos hecho antes referencia, y del que acompañaba una certificación, pero al que se atribuía un valor de determinación del dominio que en absoluto tenía: “incluyó Campo Fenero dentro del término de Biel, y como propiedad de este Ayuntamiento”. Tras ello, se refería al deslinde de términos de 1926, reconociendo en este caso su ineficacia jurídica para determinar la posesión. Después, el propio alcalde reconoce la debilidad de sus argumentos: “De todo esto se deduce que si bien la propiedad [del Campo] no está claramente determinada, Biel puede aspirar a ella con títulos suficientes”. Igualmente, pobre era la única prueba presentada en apoyo de la existencia de una alera foral sobre Nofuentes: “hemos hallado el testimonio de unas actas insertas en un libro de actas antiguo, con tapas de piel, y perteneciente al Capítulo de Ganaderos, que administraba entonces los pastos en las que claramente se prueba que entonces, año 1882 y siguientes, se ejercitaba ya este derecho, que desde entonces, e indudablemente también con anterioridad, se ha venido ejercitando ininterrumpidamente”. Solo al final de la carta el alcalde rebaja su tono, al afirmar que “no es deseo de este Ayuntamiento entrar en cuestiones y litigios... Le envío estos antecedentes con el fin de que halle Vd. la solución a este asunto, sin perjudicar a unos y a otros”.

Si se nos permite la expresión coloquial, esta carta que acabamos de extractar se puede calificar como un farol bastante ingenuo. En lo que se refiere a Campo Fenero, la única prueba aportada son los deslindes de términos de 1872 y 1926, totalmente ineficaces en lo que se refiere a determinar la propiedad o la posesión. Las demás pruebas a las que se alude (el dictamen jurídico de 1891, o la “carta” sobre el acuerdo amistoso con la señora Fanlo) no se aportan. Y la afirmación de que “esta propiedad se ha inclinado siempre del lado de Biel” era, simplemente, falsa: parece muy improbable que el

Ayuntamiento no conservara en su archivo copia del pleito ganado por la señora Fanlo en 1880-1888. Y, en lo que se refiere a la alera sobre Nofuentes, aunque el acta aportada por el Ayuntamiento de Biel (la correspondiente a la reunión de la Junta de Ganaderos habida el 13 de junio de 1882 “en el local de la escuela de niños”) contenía como primer acuerdo el de “que para gozar de la alera foral que esta población tiene de pastar con sus ganados las yerbas de la pardina de Nofuentes saldrán dichos ganados el día 20 del corriente mes para que al día 21 siguiente entraran a disfrutar de dicha alera foral, permaneciendo hasta el día 27, o sea seis días de disfrute de la misma”, también demostraba que la servidumbre de pastos entonces vigente era residual (solo se ejerce seis días) y muy poco tenía ya que ver con una verdadera alera foral, fuera del nombre que se le atribuye. En todo caso, el Ayuntamiento de Biel no probaba el meollo de la cuestión: que realmente esa alera estaba siendo ejercida por los ganados de su localidad. El documento más moderno que había podido aportar era de 1882 (aunque afirmaba que había otras actas referidas a la alera hasta 1887), por lo que resultaba probable que esa servidumbre estuviera extinta por falta de uso durante al menos veinte años (en aplicación del artículo 546.2 del Código Civil), sobre todo cuando no se hallaba inscrita como carga en el Registro de la Propiedad.

Navarro Garnica contesta el día 18 siguiente, de nuevo con ponderación y prudencia: solo parece vislumbrarse una levísima (incluso elegante) reconvencción al tono del alcalde al aludir a su “extensa y clara carta... relacionada con asuntos que tenemos, no puedo decir en discusión, ya que estamos en perfecta armonía, sino pendientes de aclaración”. Y además, se muestra notablemente generoso en lo que se refiere a la alera foral tan pobremente documentada, en particular al derecho de abrevar, que se muestra dispuesto a respetar “hasta que un día, si llegara, se aclare jurídica y definitivamente con documentos. Es decir, de momento no tomo ninguna disposición en contra de ella”. En cuanto a Campo Fenero, aun contemplando la posibilidad de que hubiera sobre él (al ser considerado parte de Nofuentes) un derecho de alera foral, señala el evidente punto débil de la carta municipal, que es la omisión documental, probablemente voluntaria, del pleito de 1880-1888:

la propiedad pertenece al Patrimonio [Forestal del Estado] actualmente, por compra a los herederos de esta señora Doña Isabel Fanlo, ya que existe un



Real Decreto de 9 de julio de 1888... cuya copia le acompaño. Aunque su significación jurídica para un no experto en la materia es difícil de determinar, viene a decir que por haber renunciado los de Biel a su derecho en alguna discusión sostenida [con] esta señora [Fanlo] reconoce la propiedad del Campo Fenero... por tanto, nosotros hemos adquirido la finca Nofuentes como dos fincas distintas: una Nofuentes propiamente dicha, y otra Campo Fenero, sita en Biel y de 14 Has.

### *El acuerdo PFE – Ayuntamiento de Biel*

A esta carta de Navarro Garnica debió seguir una reunión habida en la sede del PFE en Zaragoza, puesto que ya la había solicitado el Ayuntamiento, y porque el siguiente paso que este da supone un cambio muy significativo en su posición, que sugiere un previo acuerdo verbal. Y es que el 2 de abril de 1955, el Pleno municipal adopta un principio de acuerdo con el PFE que es sometido a consulta de “los demás organismos locales” (probablemente, la Hermandad Sindical de Labradores y Ganaderos), y ratificado por el Pleno del día 21 del mismo mes. El día 22, el alcalde suscribe una instancia dirigida al director general del PFE donde, tras volver a exponer (probablemente como un brindis al sol) sus reivindicaciones de ser dueño del Campo y titular de un derecho de alera sobre la pardina, ofrece (“aun a trueque de lesionar sus legítimos intereses”) el siguiente acuerdo: la extinción total de la alera foral sobre la pardina de Nofuentes, a cambio, de que se le reconozca “la conservación de todos los derechos de pastoreo y abrevadero sobre *Campo Fenero*, con prohibición de repoblación y pastoreo por otros ganados que no sean los de Biel”. Esto suponía reconocer de manera implícita pero clara la propiedad del PFE sobre Campo Fenero. En la propuesta de Navarro Garnica a la Dirección General, el 3 de mayo siguiente, es tan importante lo que se dice como lo que se insinúa: “Sin perjuicio del fundamento legal de la cuestión entiende el que suscribe que puede autorizarse la abrevada y pastoreo en las 13 Has. de Campo Fenero ya que allí se halla el único abrevadero útil de una enorme zona pastoral... pero no puede admitirse que se niegue este derecho [de abrevada y pastoreo] ni a los ganados trashumantes que utilizan esa vía pecuaria, ni a los ganados pastantes en Nofuentes por arriendo de este Patrimonio Forestal del Estado”. Es decir: se es consciente de que el PFE se halla en una posición jurídica mucho más sólida que el Ayuntamiento, pero se prefiere llegar a una solución

paccionada, que además respete otros derechos como los del ganado trashumante y no otorgue ventajas excesivas a Biel.

Finalmente, la Resolución del director general del PFE de fecha 20 de julio de 1955, aceptó esta transacción, aceptando la renuncia de Biel a los dudosos derechos de alera foral que pudiera tener sobre la pardina, comprometiéndose, en lo que respecta a Campo Fenero, a lo siguiente: “b) El Patrimonio Forestal cede el aprovechamiento de los pastos con carácter exclusivo en una extensión de 13 Has. en el sitio conocido como *Campo Fenero* al Ayuntamiento de Biel y se compromete a no ejecutar repoblaciones sobre este terreno. c) El abrevadero localizado en *Campo Fenero* podrá ser utilizado por el ganado trashumante que transite por la cañada del Pirineo a Cinco Villas, y también por el ganado que pascie en la pardina de Nofuentes”. Obsérvese, por tanto, que la Dirección General del PFE no concede a los ganados trashumantes y de la pardina de Nofuentes más que el derecho de abrevar, no de pastar, apartándose parcialmente del parecer de la Brigada de Aragón de ese organismo, y siendo en definitiva más generoso aún con el Ayuntamiento de Biel. Una vez aprobado este acuerdo con el PFE, concluyeron definitivamente las polémicas que durante más de dos siglos (desde al menos el pleito de 1733) habían afectado a este monte.

En este acuerdo, y en general en todo el tratamiento de la polémica, es patente la notable sensibilidad social del PFE, el trato comprensivo, respetuoso e incluso paciente que da a la población local, y el esfuerzo que desde el primer momento hace para no perjudicar a la ganadería extensiva. Además de todo lo ya expuesto, merecen ser citados otros dos últimos hechos que lo demuestran. El primero es el siguiente: mientras se tramitaba la transacción entre el PFE y el Ayuntamiento, un pastor del pueblo introdujo sus ganados a pastar en el Campo, por lo que fue denunciado por el guarda forestal. El 24 de junio de 1955, el alcalde escribe a Navarro Garnica, pidiendo que deje sin efecto la denuncia, y este le contesta el día 27 siguiente, manifestando, por un lado, lo evidente: no se puede dejar de aplicar la ley, y hay que mantener el estado posesorio legal del Campo, dado que la transacción aún no ha sido aprobada por la Superioridad. Pero, de nuevo, no se queda en el rigor: “esta denuncia deberá ser tramitada, aunque será tratada con la máxima benignidad”. El segundo hecho demuestra lo consciente que fue el Ayuntamiento de Biel de la generosidad y comprensión

mostradas por Navarro Garnica: el 15 de agosto de 1955 aprobó, mediante acuerdo plenario unánime, hacer constar “el profundo agradecimiento de la corporación” a la Jefatura de la Brigada en Aragón del PFE, “por las gestiones realizadas en relación con el pastoreo de los ganados de Biel en Campo Fenero”.

Es importante subrayar todo esto, porque existe un lugar común en muchas publicaciones que acusa al PFE de haber adoptado, en relación con las poblaciones locales afectadas por las repoblaciones forestales, posturas prepotentes y excluyentes, en particular en lo referente a la ganadería. Ocioso sería acumular aquí las citas en ese sentido; bástenos, por su claridad y por referirse concretamente a Aragón, la de PINILLA (1995: 62):

El tipo de política de repoblación [forestal] llevado a cabo, en vez de integrarla con la economía local tendió a separarla, con una visión que buscaba excluir a los habitantes locales de la toma de decisiones y la actuación en un tema clave para el desarrollo local. Por ello se ha considerado que, en muchas ocasiones, la política de repoblación incentivó todavía más la emigración y destrucción de la economía de estas zonas, al desorganizarla, modificando estructuras agrarias y haciendo inviable su mantenimiento.

Sin embargo, del caso que analizamos se concluye, como hemos dicho, justo lo contrario. Y debemos añadir que no se trata, ni mucho menos, de una situación única o excepcional. Hemos tenido ocasión, a lo largo de nuestra vida profesional, de analizar multitud de documentos sobre la actuación del PFE en la provincia de Zaragoza y, como norma general, dicho organismo muestra un conocimiento profundo y un notable respeto de la economía y de la sociedad rural, esforzándose por llegar a un acuerdo antes de tomar ninguna medida drástica, por bien fundamentada jurídicamente que esta pudiera estar. Debe, pues, corregirse ese lugar común, a partir de un examen detenido de la documentación de la época, que aún sigue siendo abundante en los archivos forestales.

#### EL OLVIDO Y EL REDESCUBRIMIENTO DE LA PROPIEDAD DEL CAMPO

No acaba ahí, sin embargo, la curiosa historia del monte. A pesar de que la gestión del Campo hubiera debido corresponder, en rigor, a la Brigada de Zaragoza del PFE, pasó a ser gestionado por la Brigada de Huesca, lo cual se explica al ser una propiedad pequeña adquirida a la vez que la gran pardina

de Nofuentes, sita en la provincia de Huesca. Esta pardina de Nofuentes fue inscrita en el elenco de montes del Estado con la clave HU-1045, y fue declarado monte de utilidad pública por Orden del Ministerio de Agricultura de 12 de abril de 1965. Al examinar el expediente tramitado para esta declaración, se observa que, aparentemente, se intenta en varias ocasiones insinuar que dentro de esa protección se incluye el monte Campo Fenero. Pero esa insinuación no bastaba: si se quería declarar en el expediente la utilidad pública del Campo Fenero como parte del monte pardina de Nofuentes, debiera en ese caso haberse dado cumplimiento a lo que claramente dispone el artículo 39.6 del ya entonces vigente Reglamento de Montes de 22 de febrero de 1962, según el cual “si, por excepción, un monte declarado de utilidad pública se hallase situado en dos o más términos municipales o provincias, se considerará, en general, a efectos de su designación en el Catálogo, como otros tantos predios distintos, inscribiéndose cada uno de estos en su correspondiente provincia y término municipal con los límites propios, las cabidas que se deduzcan de sus líneas perimetrales y números que les correspondan, pero manteniendo para todos ellos... idéntica pertenencia”. Sin embargo, no se hizo así. En nuestra opinión, este modo de proceder se puede deber a que la Brigada de Huesca del PFE sabía que su gestión de una finca sita en otra provincia era a título precario, y procuró conjugar dos imperativos incompatibles: mantener dicha gestión disimulando en el expediente que el monte Campo Fenero estaba sito en Biel; y, sin embargo, declararlo de utilidad pública pese a no ser el organismo competente para tramitar ese expediente. El resultado es que mantuvo la gestión pero, legalmente, no declaró de utilidad pública el monte.

Está probado que la Brigada zaragozana conocía, en las primeras décadas tras la compra, la propiedad del Campo a favor del PFE, primero, y del ICONA (que lo sustituyó en 1971), después. El Campo Fenero figura expresamente como finca distinta de los montes de Biel en al menos dos planos elaborados por la Brigada de Zaragoza del PFE. En primer lugar, en el plano titulado *Montes de Biel*, elaborado a escala 1:25 000 y usado profusamente para la suscripción de los consorcios y convenios para repoblación forestal que afectaron a estos montes en las décadas de 1960 y 1970; y, en segundo lugar, en el cuidadoso levantamiento topográfico hecho en noviembre de 1969 para la repoblación del monte de utilidad pública número 182, Nuestra Señora de Orrios, del Ayuntamiento de Biel,

donde se recorre la colindancia con el Campo Fenero, sobre el cual se anota, muy significativamente: “(HU-1045)”. Pero, con el paso de los años, fue esta propiedad cayendo en el olvido, a lo cual probablemente contribuyeron varios hechos: no haber sido repoblado el monte y ser pasado solo por los ganados de Biel (en cumplimiento de lo acordado con el Ayuntamiento) por lo que su aspecto no era el típico de un monte propio de la Administración Forestal; y no figurar individualizado (sino incluido dentro de la cabida de la pardina de Nofuentes) en la relación de montes traspasados por el ICONA a la Comunidad Autónoma de Aragón por el Real Decreto 1410/1984, de 8 de febrero (*BOE*, n.º 179, de 27 de julio de 1984, y *BOA*, n.º 30, de 23 de agosto del mismo año), de traspasos de funciones y servicios del Estado a la Comunidad Autónoma de Aragón en materia de conservación de la naturaleza. De este modo, la propiedad del Campo Fenero (que a partir de 1984 correspondería, por el citado traspaso de competencias, a la comunidad autónoma) se olvidó. Por eso, el monte no recibió número en el elenco de montes propios de la Administración Forestal en la provincia de Zaragoza; y por eso también se explica que no se conservara ninguna documentación escrita sobre él en los archivos del Servicio Provincial de Zaragoza, de modo que, cuando se tramitó el expediente de rectificación del *Catálogo de Montes de Utilidad Pública* de esta provincia (aprobado finalmente por Decreto 58/2004, de 9 de marzo, del Gobierno de Aragón), no se detectó la existencia de esta finca.

Al olvido del Campo Fenero como propiedad de la Administración Forestal coadyuvó, por tanto, en gran medida, la deficiente conservación y catalogación de los antecedentes sobre la propiedad. En este sentido, procede recordar que el vigente Reglamento de Montes de 1962, en su artículo 39 (desarrollado por la Orden del Ministerio de Agricultura de 31 de mayo de 1966), establece el *Catálogo de Montes de Utilidad Pública* como un registro público administrativo que reúne un amplísimo elenco de información posesoria, administrativa e histórica, resultado de una ingente compilación de documentación y antecedentes, de enorme valor para la gestión forestal, pero también para las entidades locales, los historiadores y los investigadores del medio natural (PÉREZ-SOBA, 2006: 263-265). Su adecuada llevanza y actualización es la base de toda gestión que se quiera hacer de los montes declarados de utilidad pública.

No fue hasta el 18 de febrero de 2011 cuando, dentro de los trabajos habituales de comprobación del estado registral de los montes de utilidad pública que desarrollamos desde la Sección de Defensa de la Propiedad del entonces Servicio Provincial de Medio Ambiente de Zaragoza (hoy, de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente), detectamos la existencia del Campo Fenero como finca registral número 1001 de Biel, aún inscrita a nombre del PFE. Recabada la documentación obrante en el Servicio Provincial de Huesca, y estudiado el asunto, tomamos la decisión de regularizar a la mayor brevedad el estado legal y posesorio del monte, mediante las actuaciones siguientes:

#### 1) Regularización registral

En lo que respecta a la propiedad del monte, y como se ha dicho, no existía duda de que correspondía a la Comunidad Autónoma de Aragón. Aunque en el anexo del Real Decreto 1410/1984, de 8 de febrero, antes citado, figura simplemente como traspasada la pardina de Nofuentes, lo hace con 1119 hectáreas, resultado de la suma de la cabida registrada de las fincas pardina de Nofuentes y Campo Fenero. Por otra parte, resuelta evidente en la exposición de motivos del Decreto, así como en su parte dispositiva y sus anexos, la intención del Estado de traspasar a la comunidad autónoma la totalidad de los montes adquiridos por el PFE y el ICONA en el territorio aragonés. Se concluía, por tanto, que se había traspasado a la comunidad autónoma la titularidad de los dos montes adquiridos en la escritura de 24 de septiembre de 1954: tanto el sito en Salinas de Jaca (hoy, Las Peñas de Riglos) como el sito en Biel.

Por ello, mediante nota interna de fecha 25 de febrero de 2011, se solicitó al Servicio de Patrimonio del entonces Departamento de Economía, Hacienda y Empleo del Gobierno de Aragón que procediera a inscribir en el Registro la titularidad del Campo Fenero a favor de la comunidad autónoma, mediante la correspondiente certificación administrativa de traspaso expedida por el señor secretario de la Comisión Mixta de Transferencias entre el Estado y la Comunidad Autónoma de Aragón. Tramitada esta solicitud con notable diligencia, el 23 de junio de 2011 se practicó la inscripción segunda de la finca, a favor de la comunidad autónoma, en el Registro de la Propiedad de Ejea de los Caballeros.

2) Regularización en el *Catálogo de Montes de Utilidad Pública de la provincia de Zaragoza*, y en el elenco de montes propios de la Administración Forestal

Urgía, por otra parte, la inclusión del Campo en el *Catálogo de Montes de Utilidad Pública* (CMUP) de la provincia de Zaragoza, y en el elenco de montes propios de la Administración Forestal, con todos los beneficios que ello implica para la propiedad, la defensa y la gestión del monte, y dando cumplimiento a lo que ordena el artículo 8 del Reglamento del Patrimonio Forestal del Estado, aprobado por Decreto de 30 de mayo de 1941, y vigente según la disposición derogatoria de la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes, según el cual “todos los montes y terrenos que pasen a pertenecer al Patrimonio Forestal del Estado serán incluidos, si no lo estuvieren ya, en el Catálogo de Montes de Utilidad Pública, como pertenecientes al Estado [en la actualidad, a la comunidad autónoma]”.

Para ello, con fecha 15 de abril de 2011 tuvimos el honor de elaborar la Memoria sobre la necesidad de proceder, de oficio, a la declaración de la utilidad pública y la subsiguiente inclusión del Campo Fenero en el CMUP. Los motivos para esta declaración eran sobrados, al hallarse el monte comprendido (al menos) en los supuestos previstos en los apartados a), e), j), l) y m) del artículo 13 de la Ley 15/2006, de 28 de diciembre, de Montes de Aragón, debido: a la situación del monte en la cabecera de un barranco tributario del río Asabón de la provincia de Huesca; a su vinculación con la generación de recursos hídricos, por la fuente que en él mana y que sirve de abrevadero para una amplia zona de ganadería extensiva; a que el monte se halla íntegramente dentro de un Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) y de una Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA), antes mencionados; a la presencia en parte del monte de un denso pinar espontáneo de *Pinus sylvestris*; y a que sustenta un pastizal montano de calidad, que resulta de interés para el mantenimiento de la pascicultura forestal. La Memoria se completaba con los correspondientes planos, basados en un levantamiento topográfico realizado sobre el terreno.

A la vista de la Memoria, el director del Servicio Provincial de Medio Ambiente de Zaragoza, mediante Acuerdo de 18 de abril de 2011, resolvió iniciar de oficio la tramitación del expediente número DUP 2/11, para el fin ya expresado. Se realizaron los correspondientes trámites de información

pública y de audiencia al Ayuntamiento de Biel; a este, como interesado al ser titular de la antes descrita servidumbre de pastos, cuyo ejercicio ininterrumpido desde el acuerdo con el PFE de 1955 estaba acreditado, lo que le confería la condición de interesado en el expediente y justificaba que se le diera expresa audiencia para que formulara las alegaciones que considerara oportunas. En ninguno de los dos trámites se presentó reclamación alguna.

Remitido el 1 de julio de 2011 el expediente a la Dirección General de Gestión Forestal del Gobierno de Aragón, para su resolución, se dictó la Orden del entonces recién creado Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente de 16 de agosto de 2011 (*BOA*, n.º 180, de 12 de septiembre), la cual declaró la utilidad pública del Campo Fenero, lo incluyó en el CMUP de la provincia de Zaragoza con el número 507 y en el elenco de montes propios de la Administración Forestal con la clave Z-1116. Se aprovechó igualmente este expediente para rectificar en el *Catálogo* los linderos de los montes de utilidad pública números 182 y 186 de la provincia de Zaragoza, denominados, respectivamente, *Nuestra Señora de Orrios* y *O Paco de Puy de Mulo*, ambos propiedad del Ayuntamiento de Biel como parte de sus *siete pacos* o antiguo *Monte Alto*, a los que hemos hecho antes referencia. Ello se hizo porque estos linderos omitían hasta entonces la directa colindancia de estos montes con el Campo, por lo cual la Orden, por mera coherencia interna del *Catálogo*, y como consecuencia obligada de la descripción con la que el Campo Fenero debía figurar en el CMUP, corrigió dicha omisión.

A partir de esta inclusión en el *Catálogo* (contra la que nadie ejerció recurso alguno), el monte pasó a figurar de manera habitual en los planes anuales de aprovechamientos forestales elaborados por el Servicio Provincial de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente de Zaragoza. De este modo, la situación legal y la gestión del Campo Fenero quedaron regularizadas en lo esencial.

## CONCLUSIONES

De cuanto llevamos expuesto, extraemos las siguientes conclusiones:

- El del Campo Fenero es un ejemplo más de la distorsión que las desamortizaciones (en este caso, la eclesiástica de Mendizábal) causaron en los sistemas de aprovechamiento forestal desarrollados por



las comunidades locales. A pesar de su pequeño tamaño, este monte constituía, por su valor pastoral singular, un elemento estratégico para la ganadería de Biel. Durante su época de propiedad eclesiástica, que podemos calificar de *semipública*, aunque se documenta el pleito de 1733, parece existir una tolerancia mayor a las necesidades de Biel. En cambio, el paso del monte a dominio privado inició una polémica que, como se ve, duró más de un siglo (1839-1955), y que solo se resolvió cuando el monte pasó a ser público, aun cuando fuera de la Administración Forestal del Estado.

- Ocupa un lugar central en dicha polémica la confusión, frecuente en el medio rural, entre los límites jurisdiccionales y los posesorios, lo cual se agravaba en este monte por su peculiar hidrografía (vertiente hacia la cuenca oscense), que parecía indicar su pertenencia a la provincia de Huesca, en detrimento de los intereses del pueblo de Biel.
- El Patrimonio Forestal del Estado mostró en este caso una generosidad y una comprensión muy notables hacia los intereses locales. Aun siendo consciente de su propia posición de fuerza jurídica, el PFE prefirió aceptar la transacción propuesta por el Ayuntamiento de Biel. Esta actitud conciliadora con las poblaciones locales fue muy frecuente en la actuación del PFE en la provincia de Zaragoza, por nuestra experiencia.
- Es extremadamente importante una adecuada catalogación y conservación de los documentos referidos a los antecedentes históricos de los montes, y en particular la buena llevanza del *Catálogo de Montes de Utilidad Pública* como registro público.

#### AGRADECIMIENTOS

Deseo hacer constar mi agradecimiento a quienes colaboraron en la recopilación documental: singularmente, a don Francisco Javier Fraile Yécora (ingeniero técnico Forestal del Servicio Provincial de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente de Huesca del Gobierno de Aragón) y a don Alejandro Asín Lansac (director del Servicio Regional de Aragón del Instituto Geográfico Nacional). También quiero agradecer a los agentes forestales del Gobierno de Aragón don Alberto Palacio Burillo y don José Relancio Sanz su ayuda

en los trabajos de campo. Agradezco al Servicio de Patrimonio del Gobierno de Aragón la rápida y eficaz tramitación de los correspondientes expedientes de regularización patrimonial del Campo Fenero, y a mis antiguos compañeros en la Sección de Defensa de la Propiedad del Servicio Provincial de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente de Zaragoza del Gobierno de Aragón, don Alfredo Ferrán Adán (ingeniero de Montes) y doña Rosa Aurora Andrés Santamaría (ingeniera técnica forestal), las opiniones con que me ayudaron a ver con claridad el estado legal del monte.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMUDÉVAR, I. (2011). *Arba de Luesia*. Disponible en <<http://escritosdeignacioalmudevar.blogspot.com.es/2011/02/arba-de-luesia.html> [consulta: 30/12/2014].
- ARGUDO, J. L. (1999). Los derechos de pastos aragoneses de origen foral (competencias de la Comunidad Autónoma de Aragón, legislación y últimas resoluciones judiciales). *Revista de Derecho Civil Aragonés*, v (2): 137-168.
- DELEITO, V. (1910). Deslindes de los montes de utilidad pública. En Cuerpo Nacional de Ingenieros de Montes, *Varios trabajos sobre piscicultura, propaganda forestal, deslindes de montes públicos y resultados obtenidos de los alcornocales andaluces en ordenación presentados a la Asamblea Forestal celebrada en Madrid del 23 al 30 de mayo de 1910*: 10-18. Imprenta Alemana. Madrid.
- FAIRÉN, V. (1951). *La alera foral*. IFC. Zaragoza. 246 pp.
- FERNÁNDEZ DE CASTRO, Á. (1895). Algo sobre deslindes. *Revista de Montes*, 431: 1-5.
- GARCÍA DE ENTERRÍA, E. (1986). *Las formas comunitarias de propiedad forestal y su posible proyección futura (epílogo: el nuevo régimen legal y el caso de Cantabria)*. Ediciones de Librería Estudio. Santander. 59 pp.
- GIL, A., y J. R. AURÍA (2007). Fuentes documentales y bibliográficas para el estudio de las Cinco Villas en los siglos XII y XIII. En E. Sarasa (coord.), *Las Cinco Villas aragonesas en la Europa de los siglos XII y XIII: de la frontera natural a las fronteras políticas y socioeconómicas (foralidad y municipalidad)*: 323-436. IFC. Zaragoza.
- GÓMEZ SAL, A., J. PASTOR y S. OLIVER (1988). La conservación de los pastos mesofíticos sobre calizas en el límite meridional de su área de distribución (N y NE de la Península Ibérica). En *Homenaje a Pedro Montserrat*: 825-830. IEA. Huesca / Instituto Pirenaico de Ecología. Jaca.
- GONZÁLEZ ESCRIG, J. L. (2002). *Ingeniería y naturaleza: aportaciones de los ingenieros de Montes españoles a las ciencias naturales durante el siglo XIX*. Asociación y Colegio de Ingenieros de Montes. Madrid. 626 pp.
- GUILLÉN, J. J. (2000). El cultivo de la hierba y el redallo en el Valle de Tena, hasta la llegada del tractor. *Temas de Antropología Aragonesa*, 10: 93-110.

- LALIENA, C. (2012). *Siervos medievales de Aragón y Navarra en los siglos XI-XIII*. PUZ. Zaragoza. 525 pp.
- LAPEÑA, A. I. (1989). *El monasterio de San Juan de la Peña en la Edad Media (desde sus orígenes hasta 1410)*. CAI. Zaragoza. 481 pp.
- LAPLANA, M.<sup>a</sup> J., M.<sup>a</sup> L. GAVÍN y J. M.<sup>a</sup> CAMPO (2005). *Catálogo de pueblos y municipios de Aragón: estadística de población y nomenclaturas toponímicas entre 1900 y 2004*. Instituto Aragonés de Estadística y CAI. Zaragoza. 604 pp.
- LÍBANO, Á., y C. VILLACORTA (2013). *Paisaje rural y explotación agropecuaria: léxico de los recursos naturales y de la vida cotidiana en el aragonés, navarro y romance vasco (siglos XIII-XVI)*. PUZ. Zaragoza. 241 pp.
- MIÑANO, S. (1826). *Diccionario geográfico-estadístico de España y Portugal*. Tomo IV. Imprenta de Pierart-Peralta. Madrid. 464 pp.
- PALACÍN, M.<sup>a</sup> C. (1997). El real monasterio de San Juan de la Peña y la desamortización. *Argensola*, 111: 153-186.
- PÉREZ-SOBA, I. (2006). La rectificación del Catálogo de Montes de Utilidad Pública de la provincia de Zaragoza. *Revista Aragonesa de Administración Pública*, 28: 195-280.
- PÉREZ-SOBA, I. (2009). Orígenes históricos de los montes municipales extraterritoriales en la provincia de Zaragoza. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 30: 337-342.
- PÉREZ-SOBA, I. (2010). *Un siglo protegiendo los montes. El Catálogo de Montes de Utilidad Pública de la provincia de Zaragoza (1905-2008)*. IFC. Zaragoza. 173 pp.
- PÉREZ-SOBA, I. (2012). *Historia del monte "Camporrojo y Chiló" (Rueda de Jalón, Zaragoza)*. IFC. Zaragoza. 211 pp.
- PÉREZ-SOBA, I. (2013a). El "Campo Fenero": la curiosa historia de un pequeño monte en el término municipal de Biel (Zaragoza). En G. Montero, M. Guijarro *et alii* (eds.), *Actas del Sexto Congreso Forestal Español*. CD-Rom. 6CFE01-568. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Pontevedra.
- PÉREZ-SOBA, I. (2013b). Los montes de utilidad pública: un patrimonio con mucho pasado y mucho futuro. *Ambienta*, 104: 54-72.
- PÉREZ-SOBA, I., y M. Á. SOLÁ (2003). *Regulación legal de los aprovechamientos de pastos y leñas en los montes públicos aragoneses*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Zaragoza. 344 pp.
- PÉREZ-SOBA, I., y M. Á. SOLÁ (2004). *La alera foral de pastos en Aragón*. El Justicia de Aragón. Zaragoza. 522 pp.
- PÉREZ VALLE, J. J. (2012). *Acerca de Luis Lacasa*. Disponible en <<http://www.amigosderibadesella.com/acerca-de-luis-lacasa> [consulta: 30/12/2014].
- PINILLA, V. J. (1995). Crisis, declive y adaptación de las economías de montaña: una interpretación sobre la despoblación en Aragón. En V. J. Pinilla y J. L. Fanlo (coords.), *Pueblos abandonados: ¿un mundo perdido?:* 55-78. Edicións de l'Astral. Zaragoza.

- SÁNCHEZ MORENO, E. M. (2012). *La geología de las sierras de Santo Domingo y Salinas como recurso de desarrollo rural: propuesta de guía divulgativa; propuesta de gestión y conservación*. Trabajo de fin de máster universitario en Ordenación Territorial y Medioambiental. Universidad de Zaragoza. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. 146 pp.
- UBIETO, A. (1986). *Historia de Aragón, 4. Los pueblos y los despoblados*. Anubar. Zaragoza.
- UBIETO, A. (1987). Las pardinas. *Aragón en la Edad Media*, 7: 27-38.
- VÁZQUEZ OBRADOR, J. (1991). Toponimia de Sobremonte (Huesca), III: el espacio agrícola. *Alazet: Revista de Filología*, 3: 145-170.
- VÁZQUEZ OBRADOR, J. (1994). Para un corpus de toponimia tensina, I: registros en protocolos de un notario de Sallent durante los años 1424-1428, 1431, 1443 y 1450. *Archivo de Filología Aragonesa*, 50: 213-280.

## TIERRA BUCHO (HUESCA): APROXIMACIÓN AL ANÁLISIS MICROESPACIAL DE SUS YACIMIENTOS PREHISTÓRICOS

Pilar SÁNCHEZ<sup>1</sup>

RESUMEN.— Este artículo presenta una aproximación al estudio de la distribución espacial de varios yacimientos cuyas cronologías van del Neolítico final al Bronce antiguo, situados en las estribaciones prepirenaicas al sur del Sobrarbe, que son objeto de una tesis doctoral en curso. En él se hace una breve introducción geográfica del territorio denominado *Tierra Bucho*, de la metodología de trabajo desarrollada para el análisis espacial *intra-site* o microespacial de los yacimientos implicados en el estudio, así como un breve resumen de estos y de su relación territorial o análisis *inter-site*.

ABSTRACT.— This paper describes a first draft of the study concerning the spatial distribution of several sites, whose chronologies spread from the Final Neolithic to the Early Bronze Age, that are located in the pre-Pyrenean mountain ranges south of the Sobrarbe area. These sites are the nucleus of an ongoing PhD dissertation. We present a brief geographical description of the territory known as *Tierra Bucho*, we discuss the research methodology developed for the intra-site spatial analysis (micro-spatial) of some of the sites and we summarize the main data obtained from them, including their territorial relations or inter-site analysis.

KEY WORDS.— Spatial distribution, isodensity curves, Final Neolithic – Early Bronze Age, middle Ebro basin.

---

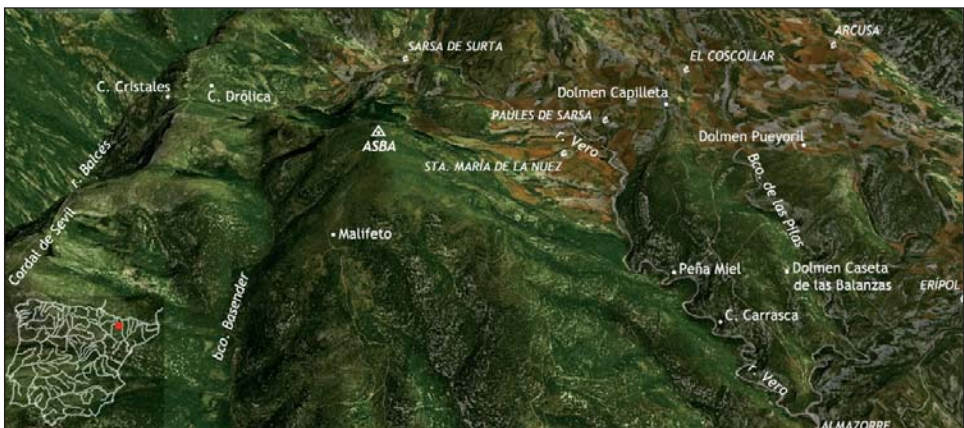
<sup>1</sup> Departamento de Ciencias de la Antigüedad. Universidad de Zaragoza. pilarsance@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

El territorio conocido como *Tierra Bucho* se localiza en la provincia de Huesca, al sur del Sobrarbe, en su límite con el Somontano. Una parte de este espacio se sitúa dentro del Parque Natural de la Sierra y los Cañones de Guara, y del Parque Cultural del Río Vero, cuyas manifestaciones de arte rupestre han sido declaradas Patrimonio de la Humanidad. En el área de estudio se concentran una serie de yacimientos arqueológicos con cronologías comprendidas entre el Neolítico final y el Bronce antiguo sobre los que versa el presente artículo (fig. 1).

El territorio de estudio comprende en la actualidad trece núcleos urbanos: Lecina, Betorz, Bárcabo, Almazorre, Hospitaled, Erípol, Sarsa de Surta, Paúles de Sarsa, Santa María de la Nuez, Las Bellostas, El Coscollar, Arcusa y Castellazo. A la sombra del puntón de Asba, es una zona caliza, fuertemente karstificada, cubierta por densos carrascales (*Selva de Almazorre*) que alternan zonas más abiertas en las que alcanzan gran desarrollo las matas de boj (*bucho*). En las primeras décadas del siglo XX esta planta fue objeto de una explotación singular por parte de los vecinos de la zona, quienes tallaban sus raíces para conseguir bolas de gran dureza que se exportaban a Francia para jugar a los bolos. De entonces viene la denominación de *Tierra Bucho*.

En ese entorno se han excavado recientemente algunos yacimientos que complementan investigaciones de los años setenta y ochenta del pasado



**Fig. 1.** Vista aérea oblicua de Tierra Bucho a partir de Google Earth y localización de los yacimientos.

siglo. El conjunto de estudio incluye tres cuevas (Drólica, de los Cristales y de la Carrasca o de la Selva de Almazorre), los dólmenes de la Capilleta, de la Caseta de las Balanzas (o de la Selva) y de Pueyoril, y dos conjuntos con arte rupestre (Malifeto y Peñamiel I y II). Este estudio sintetiza la base de una tesis doctoral en curso (*La ocupación prehistórica en Tierra Bucho. Análisis espacial de un territorio y de sus yacimientos del Neolítico final al Bronce antiguo*) bajo la dirección de la doctora Lourdes Montes.

#### MATERIAL Y MÉTODO: EL ANÁLISIS *INTRA-SITE*

El total de campañas de excavación realizadas en los yacimientos contemplados ha sido de nueve, de ellas cuatro en cueva Drólica de forma consecutiva de 2006 a 2009 y una en cada uno de los siguientes sitios: en la cueva de los Cristales en 2007, desarrollada a la par que la de su vecina cueva Drólica, ambas codirigidas por Lourdes Montes y Manuel Martínez Bea; en la cueva de la Carrasca (o de la Selva de Almazorre) en el año 1984, codirigida por Carlos Esco y M.<sup>a</sup> José Calvo; en los dólmenes de la Caseta de las Balanzas en 1986 y de la Capilleta en 1987 asimismo bajo la dirección de M.<sup>a</sup> José Calvo. El dolmen de Pueyoril permanece sin excavar. Sobre estos yacimientos se ha planteado una doble línea de investigación de tipo espacial.

- Una, *inter-site* (o macroespacial), que busca reconocer la funcionalidad de cada sitio en una organización territorial compleja. En el estudio macroespacial se siguen las pautas habituales de este tipo de estudios, explotando herramientas SIG (visibilidad, orientación, fricción del relieve para estimar el esfuerzo en las comunicaciones, pendientes, tipos de suelos...).
- Otra, *intra-site* (microespacial), que pretende reconstruir la distribución interna del espacio doméstico en los yacimientos de habitación, determinando las distintas áreas de trabajo, descanso, etcétera, que centra este artículo. En este análisis se emplea una metodología propia que ya fue aplicada al estudio del espacio interior de los niveles neolíticos de Chaves (SÁNCHEZ, 2010 y e. p.) hoy totalmente arrasados por la vandálica intervención de Fimbas, S. A., propietaria del coto de Bastarás.

Todos los materiales arqueológicos recuperados se hallan depositados en el Museo de Huesca, donde se está procediendo a su estudio una vez

conseguidos los permisos pertinentes: se han revisado, fotografiado y dibujado estos materiales, además de haber consultado la documentación archivada de los diferentes yacimientos (diarios, inventarios, planimetrías, informes, fotografías, dibujos...). La correcta recuperación e identificación de los materiales exhumados durante la excavación arqueológica es fundamental en el proceso de reelaboración del inventario y de la posterior distribución espacial mediante curvas de isodensidad que exige nuestro método de trabajo.

### *La elaboración del inventario único*

La muestra trabajada es dispar por distintas razones: por la variedad de tipos de yacimientos (habitación *vs.* enterramiento, cueva *vs.* dolmen en estos últimos...), por el tamaño de los sitios (Dróllica presenta un espacio habitable superior al de la Carrasca...), por el estado de conservación de los sitios en el momento de la excavación (dólmenes prácticamente arrasados...) e incluso por las propias excavaciones, bajo directores diferentes. Así pues, la primera acción del estudio interno de los yacimientos, del análisis *intra-site*, ha sido homogeneizar los datos materiales, unificando el formato de los inventarios y de los criterios de tratamiento de los datos.

Cada uno de los yacimientos poseía su propio inventario; alguno estaba informatizado lo que ha facilitado el trabajo, pero otros estaban simplemente manuscritos. Todos los datos originales han sido volcados a una hoja de cálculo (Excel, versión Microsoft Office 2003), que recoge el modelo de inventario unificando criterios. Los inventarios originales, básicamente topográficos, describen para cada elemento registrado los datos clave: año de intervención, cata o cuadro de origen, nivel o coordenada *z* (profundidad), el número de inventario y, finalmente, una breve descripción del resto (cerámica impresa, lámina de sílex, hueso identificable...). Sobre las piezas inventariadas, este registro se plasma mediante una sigla compuesta por términos que recogen los descritos: referencia del yacimiento (con el año), el cuadro de procedencia, el nivel o la profundidad y el número de inventario.

El nuevo inventario mantiene las entradas topográficas, pero al mismo tiempo es descriptivo y tipológico. En la hoja Excel cada línea o fila corresponde a un resto cuyos atributos se desglosan en un total de 39 columnas,



que se agrupan en dos grandes bloques: el inicial o descriptivo del yacimiento recoge los datos topográficos en 14 columnas; el segundo bloque clasifica genéricamente el resto, en función de la materia prima y de otros parámetros tipológicos, siempre genéricos, en 25 columnas, que se agrupan en categorías excluyentes entre sí: nueve para los restos cerámicos, seis para los óseos y otras seis para los líticos, y cuatro para otros materiales (adornos, carbones, otros restos vegetales y varios).

Una vez concluida la fase de informatización del primer bloque, volcando los datos de los inventarios originales, se han contrastado los datos directamente con los restos arqueológicos, uno a uno, hasta rellenar las columnas descriptivas. El trabajo se ha llevado a cabo directamente en las dependencias del Museo de Huesca, consultando los fondos de estos yacimiento: de cueva Drólica (más de 6000 restos), de cueva de la Carrasca (más de 4000) y de la cueva de los Cristales (43), y realizándose la clasificación final y detallada de los mismos. Los restos de los dólmenes son esencialmente humanos, y ascienden a 659 en la Capilleta y a 1494 en la Caseta de las Balanzas.

### *La distribución de los restos y su plasmación en curvas de isodensidad*

En el análisis microespacial, los yacimientos han sido tratados de forma distinta, pues también es distinta su naturaleza: las cuevas Drólica y de la Carrasca sirvieron como lugar de habitación, mientras que otra de las cuevas, Cristales, sirvió como lugar funerario, como sucede con los dólmenes. También el estado de conservación del yacimiento y la información disponible han incidido en este tratamiento: en la cueva de la Carrasca no se ha podido recuperar de momento la planimetría de la excavación; en la cueva de los Cristales, la disposición de los restos en superficie indicaba una remoción del depósito original, y en el caso de los dólmenes la profunda alteración histórica impide realizar un estudio detallado, aunque se puede estudiar el lugar de aparición y el número de restos recuperados, que solo se conservaban acumulados junto a las lajas perimetrales. Cueva Drólica es el yacimiento que sirve de modelo para estudiar la distribución espacial: a partir de su inventario, realizados los recuentos pertinentes, se han podido dibujar los diferentes gráficos / curvas de isodensidades, que muestran la

concentración de los diferentes tipos de materiales, usando siempre como unidad de base los niveles arqueológicos.

La versión de Excel utilizada permite dibujar directamente un gráfico de superficie y planta, por celdas, según las cantidades numéricas que estas reflejan. A partir de los recuentos originales por cuadros (o por sectores), se procede a dibujar en un documento Excel nuevo la reproducción de la planimetría de la excavación: cada celda equivale a un cuadro (o sector) del yacimiento, siguiendo la distribución en planta de la topografía real. Una vez dibujada esta *planta* se rellena cada celda con el número de restos



**Fig. 2.** Arriba, a la izquierda: hoja de cálculo sumatoria de todos los fragmentos (N = 478) del gran vaso campaniforme de cueva Drólica. Abajo, a la izquierda: gráfico de isodensidades correspondiente a esos datos volcados en la hoja de Excel. Derecha: planta de Cueva Drólica con sus estructuras, a las que se superponen las curvas de concentración de los fragmentos del vaso.

considerado (el total de todas las categorías, el total de cerámicas, el total de cerámicas impresas...). Después la propia aplicación realiza el gráfico de superficie correspondiente, que no es sino un diagrama de isodensidades. Cada una de las curvas se representa con un color diferente: se ha elegido la gama de los tostados, más claro cuando la concentración de restos por metro cuadrado es menor y de color más oscuro a mayor concentración.

Posteriormente, para mejorar visualmente el dibujo final, se suavizan las líneas angulosas del diagrama en bruto que genera Excel, empleando Adobe Illustrator CS3, que permite la creación de imágenes a partir de gráficos vectoriales. El último paso es ajustar las gráficas sobre la planimetría de la zona excavada, que previamente se ha tratado con el mismo programa de dibujo vectorial a partir de las topografías originales, cedidas por los directores de las excavaciones. El proceso seguido con los restos de un gran vaso con decoración campaniforme de cueva Dróllica sirve de ejemplo gráfico (fig. 2). En la realización de la planimetría de base de cueva Dróllica (o de otro yacimiento), es indispensable contar con los dibujos realizados *in situ* durante la excavación, además de las múltiples fotografías de detalle para corregir el resultado final incorporando todos los elementos necesarios: bloques desplomados, estructuras, materiales dispersos... El proceso no es muy difícil, pero resulta laborioso y complejo, especialmente a la hora de ajustar las gráficas angulosas suministradas por Excel al dibujo realista ejecutado con los programas de dibujo vectorial.

### *Los yacimientos y su registro arqueológico*

En la interpretación territorial de esta concentración de yacimientos, la hipótesis de partida es que estos sitios muestran la consolidación de un poblamiento que habría comenzado unos siglos antes, durante el Neolítico, ligado a los movimientos de los ganaderos con sus rebaños de ovinos en busca de pastos estivales. La situación de los yacimientos de Tierra Bucho en las inmediaciones de cabañeras tradicionales es la base de este argumento. Las dataciones radiocarbónicas (tabla 1) y la similitud de sus materiales permiten encuadrar el grueso de esta ocupación en el Calcolítico – Bronce antiguo, precedida por algún vestigio neolítico y evidencias de visitas posteriores.

**Tabla 1.** Dataciones radiocarbónicas de Tierra Bucho, ordenadas por orden de antigüedad desde las más recientes. Las columnas de las dataciones indican la fecha suministrada por el laboratorio (anterior al presente) y su calibración a 2 sigmas, con el resultado del calendario (a. de C.).

<i>Yacimiento</i>	<i>Nivel</i>	<i>Tipo de muestra</i>	<i>Referencia de laboratorio</i>	<i>Fecha BP</i>	<i>Fecha cal. a. de C. (95%)</i>	<i>Periodo</i>
Drólica	Trazo	Carbón	GrA-25758	85 ± 35	1850 d. de C.	Siglo XIX
Drólica	Sup. / a	Hueso humano	Beta-318932	2190 ± 30	361-178	Hierro II
Drólica	Hogar	Carbón	GrA-37599	2500 ± 30	788-537	Hierro I
Drólica	a	Carbón	GrA-33938	3440 ± 35	1880-1662	Bronce antiguo
Drólica	a	Carbón	GrN-30996	3790 ± 60	2457-2038	Calcolítico
Las Balanzas	–	Hueso humano	GrN-16052	3795 ± 35	2397-2061	Calcolítico
Drólica	a	Carbón	GrA-25757	3830 ± 45	2460-2146	Calcolítico
Cristales	–	Hueso humano	GrN-26967	3900 ± 100	2834-2041	Calcolítico
Drólica	a	Carbón	GrA-33936	3975 ± 35	2579-2349	Calcolítico
Drólica	a	Carbón	GrA-33935	4000 ± 35	2619-2462	Calcolítico
Drólica	a	Carbón	GrA-38063	4105 ± 30	2864-2506	Calcolítico
Cristales	–	Hueso humano	GrA-38062	4125 ± 30	2867-2581	Calcolítico
Capilleta	–	Hueso humano	GrN-16051	4360 ± 35	3089-2901	Calcolítico
Cristales	–	Hueso humano	GrA-38061	4370 ± 30	3089-2907	Calcolítico
Drólica	Galería	Carbón	GrA-33914	5855 ± 40	4828-4609	Neolítico

— *Cueva Drólica* (Sarsa de Surta, hoy término municipal de Aínsa-Sobrarbe). Excavada entre los años 2006 y 2009 por Lourdes Montes y Manuel Bea, su boca se abre al este a 1220 metros de altitud. La cueva presenta forma de tubo, larga y estrecha, con un desarrollo de 80 metros y dos galerías lineales de dirección este-oeste. La localización de lo que parecían grabados rupestres en su interior por parte de José Antonio Cuchí y José Luis Villarroya supuso el inicio de la intervención arqueológica por su posible adscripción paleolítica (MONTES y cols., 2001). El análisis detallado de los trazos acabó por desechar su carácter antrópico, atribuyendo su origen a meros zarpazos de oso (MONTES y MARTÍNEZ-BEA, 2007b).

Las excavaciones afectaron a la zona del vestíbulo, donde se conservaba un nivel de habitación, con estructuras de acondicionamiento (muretes, hogares) cuyos materiales lo adscriben culturalmente al Calcolítico – Bronce antiguo: la mayoría de los restos son cerámicas, entre las que destacan las

decoraciones campaniformes y un mínimo lote de instrumentos líticos y óseos (MONTES y MARTÍNEZ-BEA, 2007c) (fig. 3). Pero hay también evidencias de otros momentos de ocupación: un interesante grupo de materiales altomedievales y algunos restos más modernos de cronología contemporánea en superficie. Además, existen algunas dataciones para las que no hay material reconocido: una de cronología neolítica, obtenida a partir de un carbón de la sala interior (en las arcillas bajo la costra estalagmítica); otra que encaja en un Bronce final – Hierro I, y otra de época prerromana correspondiente a un cráneo humano, que indica un uso funerario de la cavidad, siquiera puntual.

— *Cueva de los Cristales* (Sarsa de Surta, término municipal de Aínsa-Sobrarbe). Abierta en un farallón calizo que corona las paredes de Balcés a 1319 metros de altitud (fig. 4), se halla situada cerca de cueva Drólica, con la que se simultaneó la excavación en 2007. Desde el exterior se accede a una sala de reducidas dimensiones, en la que abundan los cristales de calcita, que dan nombre a la cavidad. Al fondo, y mediante un estrecho tubo circular de 60 centímetros de diámetro por algo más de 3 metros de longitud, se accede a una segunda sala de dimensiones similares a la primera, cuyo suelo aparece cubierto de un pobre relleno de tierra, clastos calizos desprendidos del techo y algunos espeleotemas, entre los cuales se encontraron algunos restos humanos, media docena de fragmentos cerámicos lisos y restos de fauna (MONTES y MARTÍNEZ-BEA, 2007a). El estudio de los



**Fig. 3.** El vestíbulo de cueva Drólica con la cuadrícula suspendida antes de comenzar la excavación y tras unas semanas de trabajo.



**Fig. 4.** Cueva de los Cristales, abierta en el farallón calizo que remata el barranco de Balcés en la zona de la Basa del Mesón. En segundo plano, la cuenca de Sarsa de Surta.

restos humanos ha fijado en siete el número mínimo de individuos, entre los que hay infantiles (tres) y adultos de ambos sexos (ALCONCHEL, 2010 y e. p.).

La datación por carbono-14 de tres de los huesos humanos, dos coxales y una escápula, ha suministrado fechas similares a las de Drólica, lo que permite suponer un empleo simultáneo de ambas cavidades durante el Calcolítico, una con carácter funerario y la otra habitacional.

— *Cueva de la Carrasca* o de la Selva de Almazorre (Almazorre, término de Bárcabo). Situada sobre el cauce del Vero, en el límite oeste de la partida conocida como *Selva Grande* o *Selva de Almazorre*, fue excavada en 1984 por M.<sup>a</sup> José Calvo y Carlos Esco. Colgada en un acantilado, no conserva su paso natural y se accede a ella mediante un descenso vertical de unos 16 metros hasta una amplia boca orientada al noreste. El yacimiento parecía inalterado (al menos en épocas recientes) debido a su difícil



**Fig. 5.** Láminas y trapecios de sílex de la cueva de la Carrasca.

acceso. La escasa potencia de sus niveles arqueológicos permitió excavar el 80% del yacimiento.

Se obtuvieron diversos materiales arqueológicos (cerámicas, una hachita votiva, hojas de hoz, láminas de sílex y una punta de flecha de gran tamaño con aletas incipientes) atribuidos por sus excavadores a la Edad del Bronce. Un segundo lote de cerámicas podrían ser de época altomedieval, posiblemente visigodas (ESCO y CALVO, 1986). Diversas láminas y algunos geométricos de sílex podrían ser incluso anteriores, neolíticos (fig. 5).

— *Dolmen de la Caseta de las Balanzas*. Excavado en el año 1986 por M.<sup>a</sup> José Calvo, en Almazorre-Bárcabo, es un dolmen de cámara simple compuesta por losas calizas y un túmulo, situado en una suave ladera (fig. 6). La cámara es de planta ligeramente trapezoidal, por efecto de la inclinación de las losas; era rectangular en origen. La losa de cubierta está desplazada y

caída en el suelo. El túmulo, de unos 10 metros de diámetro, es circular y está rodeado por un peristilito (CALVO, 1991a).

El material arqueológico recuperado está formado, sobre todo, por restos humanos: más de 400 piezas dentarias completas y otras fragmentadas, huesos de pequeño tamaño, falanges y fragmentos, y esquirlas de huesos. Junto a ellos, algunos elementos de adorno personal (cuentas de *dentalium*, un colgante oval de concha, un botón de hueso de perforación en V), láminas de sílex y algunos pequeños fragmentos de cerámica. Una datación de radiocarbono correspondiente al Calcolítico,  $3795 \pm 35$  BP, se ajusta al conjunto Dróllica-Cristales.

— *Dolmen de la Capilleta*. Se sitúa en Paúles de Sarsa, término de Aínsa-Sobrarbe, en las proximidades de la ermita o capilleta de San Isidro, que le da nombre, a 840 metros de altitud. Es un dolmen simple, con restos de las losas de piedra caliza de su cámara y del túmulo (casi inapreciable, de unos



**Fig. 6.** Dolmen de la Caseta de las Balanzas o de la Selva de Almazorre.





**Fig. 7.** Dolmen de la Capilleta.

10 metros), excavado en el año 1987 por M.<sup>a</sup> José Calvo. La cámara, con un empedrado o enlosado posiblemente rectangular, solo conserva dos losas unidas en uno de los extremos, una de las cuales presenta un círculo grabado (fig. 7).

Conservaba restos óseos de seis u ocho individuos que no habían sufrido remociones posteriores a su inhumación: más de 500 piezas dentarias de adultos y niños. Además, se recuperaron decenas de cuentas de collar discoidales, cilíndricas y de *dentalium*, conchas perforadas usadas como elemento de adorno, un colgante ovoide de hueso, un botón de perforación en V (roto), dos puntas foliáceas de sílex y algunos fragmentos de cerámica (CALVO, 1991b). Una datación obtenida por carbono-14,  $4360 \pm 35$  BP, prácticamente idéntica a otra de la cueva de los Cristales, lleva ambos enterramientos a los inicios del Calcolítico, casi Neolítico final.

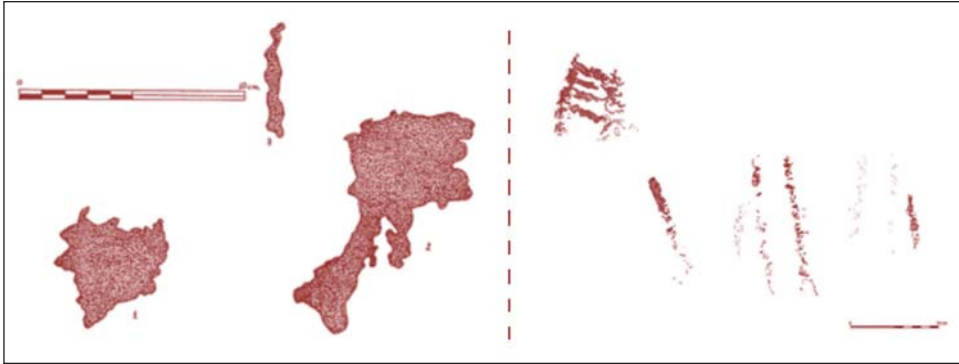
— *Dolmen de Pueyoril*. Es un dolmen que permanece sin excavar, localizado a 840 metros de altitud, en las proximidades del semiderruido Mesón



**Fig. 8.** Dolmen de Pueyoril.

de Arcusa, término de Aínsa-Sobrarbe. De supuesta cronología calcolítica, presenta restos de una cámara formada por potentes apoyos verticales y una gran losa como cubierta (fig. 8), actualmente desplazada, y claros vestigios de túmulo.

— *Abrigos pintados de Peña Miel I, Peña Miel II y Malifeto.* La ocupación del territorio no solo se documenta en forma de asentamientos, sino también atendiendo a un componente simbólico evidente. Este viene determinado por los enterramientos (ya sean en cueva o en dolmen) y también por conjuntos con arte rupestre. En la zona de Tierra Bucho tan solo se constata la existencia de tres pequeños conjuntos rupestres: Covacho de Malifeto y cueva de Peña Miel I y II (BALDELLOU, 1986-1987 y 1991). En los tres abrigos, todavía en proceso de estudio, se representaron elementos propios de un arte esquemático cuya lectura (por su mal estado de conservación y simplicidad de trazos) resulta imposible. En todos ellos aparecen digitaciones y barras verticales, y en el de Malifeto, un escaleriforme (fig. 9).



**Fig. 9.** Izquierda, Peña Miel I: reproducción del calco. Derecha, dedadas y escaleriforme de Malifeto. (A partir de V. Baldellou).

Estas representaciones resultan difíciles de clasificar cronoculturalmente, por más que sean habituales en los abrigos de la cuenca del Vero. Se trata, por la máxima simplicidad de su ejecución y su forma, de elementos que forman parte de un ideario universal simplificado, sin que por ello debamos o podamos otorgar a todos los casos un mismo significado e idéntica asignación cronológica.

## CONCLUSIONES

- Hay un panorama relativamente bien conocido para el territorio del alto Vero en el Calcolítico, con dos lugares de habitación (creemos que secundarios) bien identificados: las cuevas Drólica y de la Carrasca. En Drólica, se reconocen estructuras sencillas, ligadas a hogares, y restos materiales típicos de contextos domésticos, con predominio de las cerámicas; en la cueva de la Carrasca, buena parte del material cerámico es prácticamente idéntico al recuperado en Drólica, con la excepción de las decoraciones campaniformes, que parecen ausentes en este sitio. Destaca, además, la importancia de sus restos líticos, en número y calidad (grandes láminas con y sin retoque, y algún geométrico), que junto a determinados fragmentos cerámicos impresos sugieren, incluso, una ocupación neolítica previa. Contamos también para este territorio con los lugares usados para enterramientos: la cueva sepulcral de los Cristales y los tres dólmenes de la Capilleta, Caseta de las Balanzas y Pueyoril. Y quizás puedan

relacionarse con esta época los abrigos pintados de Peña Miel (I y II) y Malifeto.

- Al final de la tardoantigüedad y durante la Alta Edad Media, Tierra Bucho parece recuperar un poblamiento de entidad: así se manifiesta en las reocupaciones de algunos de estos yacimientos (Dróllica, Carrasca), a las que se suma el interesante conjunto de cueva Foradada (BARANDIARÁN, 1973), y en la línea de fortificaciones que crecen en esta tierra de frontera entre las poblaciones cristianas del norte y las musulmanas del sur (castillos y torres de Azaba, Miravet, Arcusa, Sarsa, Surta, Almazorre, Erípol, Castellazo...), por no hablar de los enigmáticos restos constructivos de la Morería, de cronología indeterminada por el momento.
- Este artículo constituye un significativo resumen del estado de la cuestión de la etapa prehistórica: tras confrontar los datos generados por las excavaciones (planimetrías, dibujos arqueológicos, fotografías, topografías, diarios, inventarios, informes, publicaciones...) con los materiales que sustentan las interpretaciones arqueológicas, se ha conseguido realizar las primeras distribuciones espaciales que ayudarán a configurar y entender la funcionalidad de los yacimientos y su articulación en el territorio, en el que destaca la falta de datos sobre un poblado al aire libre.
- Se ha desarrollado una metodología de trabajo propia con la realización del inventario unificado a partir de los inventarios originales, que permite unificar criterios de descripción y tratamiento de los datos.
- El diseño de este inventario puede adaptarse a las necesidades de un yacimiento concreto (recintos funerarios como la cueva de los Cristales, por ejemplo), sin perder el tratamiento básico que permite la comparación directa entre los distintos yacimientos estudiados.
- El proceso que se ha diseñado para el estudio de la distribución espacial de los yacimientos mediante curvas de isodensidad es aplicable a cualquier etapa histórica. Lo fundamental es la correcta recuperación e identificación de los materiales exhumados durante la excavación arqueológica.

## AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que de una forma directa o indirecta han ofrecido su ayuda y colaboración, principalmente a los directores de las excavaciones arqueológicas de los yacimientos estudiados, por habernos permitido el acceso a las colecciones y a toda la documentación generada, y al personal del Museo de Huesca por facilitar esta consulta.

Al Grupo de Investigación Primeros Pobladores del Valle del Ebro, por su apoyo en la investigación, en especial a la directora de la tesis doctoral en curso, doctora Lourdes Montes.

Este trabajo ha recibido una Ayuda de Investigación del Instituto de Estudios Altoaragoneses (área de Arqueología) en su XXIX convocatoria, del año 2013.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CALVO, M., J. BESTEIRO, E. SEVILLANO y A. POCOVÍ (1988). *Minerales de Aragón*. Mira. Zaragoza. 142 pp.
- ALCONCHEL, L. (2010). *Estudio antropológico de una serie de yacimientos del Prepirineo: cueva Dróllica, cueva de los Cristales, dolmen de la Caseta de las Balanzas y dolmen de Tella*. Trabajo DEA, inédito. Universidad de Zaragoza. 137 pp.
- ALCONCHEL, L. (e. p.). Paleoantropología del alto Vero en el Calcolítico: las cuevas Dróllica y de los Cristales y el dolmen de la Caseta de las Balanzas. *Bolskan*, 24 (2009-2014): 11-33.
- BALDELLOU, V. (1986-1987). El conjunto de pinturas rupestres post-paleolíticas de la cuenca del Vero. *Bajo Aragón Prehistoria*, 7-8: 75-84.
- BALDELLOU, V. (1991). Memoria de las actuaciones de 1986 y 1987 en la zona del río Vero (Huesca). *Arqueología Aragonesa, 1986-1987*: 13-17.
- BARANDIARÁN, I. (1973). Los restos visigodos de la cueva Foradada (Sarsa de Surta, Huesca). *Estudios de Edad Media de la Corona de Aragón*, IX: 9-48.
- CALVO, M.<sup>a</sup> J. (1991a). Excavaciones en el dolmen de la Caseta de las Balanzas en Selva Grande (Almazorre-Bárcabo, Huesca). *Arqueología Aragonesa, 1986-1987*: 87-88.
- CALVO, M.<sup>a</sup> J. (1991b). Excavaciones en el dolmen de la Caseta de la Capilleta, Paúles de Sarsa, Aínsa (Huesca). *Arqueología Aragonesa, 1986-1987*: 89-90.
- ESCO, C., y M.<sup>a</sup> J. CALVO (1986). Cueva de la Carrasca (Almazorre-Bárcabo, Huesca). *Arqueología Aragonesa, 1984*: 105-107.

- MONTES, L., y M. MARTÍNEZ-BEA (2007a). *Cueva de los Cristales. Excavación 2007. Informe final*. Informe presentado a la Dirección General de Patrimonio del Gobierno de Aragón (inédito).
- MONTES, L., y M. MARTÍNEZ-BEA (2007b). La cueva Drólica de Sarsa de Surta (Huesca). El arte rupestre que nunca fue y su yacimiento campaniforme. En *Homenaje a Ignacio Barandiarán. Veleia*, 24-25: 813-831.
- MONTES, L., y M. MARTÍNEZ-BEA (2007c). El yacimiento campaniforme de cueva Drólica (Sarsa de Surta, Huesca). *Saldvie*, 6: 275-295.
- MONTES, L., M. MARTÍNEZ-BEA, J. A. CUCHÍ y J. L. VILLARROEL (2001). Los trazos indeterminados de la cueva Drólica (Sarsa de Surta, Huesca). *Bolskan*, 18: 233-241.
- SÁNCHEZ, P. (2010). *El espacio doméstico – acondicionamientos y estructuras en los yacimientos – durante el Neolítico en la cuenca media del Ebro. La cueva de Chaves como ejemplo*. Trabajo DEA, inédito. Universidad de Zaragoza. 146 pp.
- SÁNCHEZ, P. (e. p.). La organización microespacial del Neolítico de la cueva de Chaves. *Bolskan*, 24 (2009-2014): 35-54.

## NORMAS DE PUBLICACIÓN

*Lucas Mallada* publica artículos y notas de investigación inéditos encuadrados en las distintas ramas de la ciencia, de acuerdo con las siguientes normas:

1. Los trabajos se enviarán en soporte digital a la redacción de la revista (IEA. Parque, 10. E-22002 Huesca. Teléfono: 974 294 120. Fax: 974 294 122. Correo electrónico: [lucasmallada@iea.es](mailto:lucasmallada@iea.es)), incluyendo una versión en Word (existe una plantilla a disposición de los autores) y una versión completa (con ilustraciones y tablas, si las hubiera) en PDF. Por el momento no se aceptan originales en LaTeX.
2. No podrán sobrepasar las 20 páginas. Excepcionalmente, a juicio del consejo de redacción, se podrán aceptar textos de mayor longitud.
3. Los artículos constarán, en principio, de los apartados que a continuación se describen. En todo caso, siempre que el trabajo lo requiera, esta estructura podrá modificarse del modo que resulte más conveniente.

*Título.* El título será conciso pero suficientemente indicador de su cometido.

*Nombre* del autor o autores, con su dirección postal y correo electrónico.

*Resumen* en castellano, y su correspondiente *abstract* en inglés, que no supere las doce líneas y que recoja lo esencial del trabajo.

*Palabras clave* en inglés, que orienten sobre el contenido del trabajo en orden de importancia, dejando en último lugar el área geográfica.

*Introducción.* Se ofrecerá en la introducción una idea de los antecedentes históricos del tema, así como del interés y la finalidad del trabajo.

*Material y métodos.* Incluirá la información pertinente de las especies estudiadas, aparatos utilizados, métodos de estudio y de análisis de los datos, y zona de estudio.

*Resultados.* En esta sección se presentarán únicamente los datos obtenidos (inéditos).

*Discusión.* Se discutirán los resultados y su comparación con trabajos relacionados: las sugerencias de investigaciones futuras podrán aportarse al final de este apartado.

*Conclusiones* (optativo). Cuando las haya, deberán presentarse en forma de afirmaciones concretas y ordenadas.

*Referencias bibliográficas.* Cada trabajo deberá ir acompañado de las referencias bibliográficas correspondientes a las publicaciones citadas en el texto. Las referencias seguirán los modelos siguientes, según se trate de libros, de artículos de revista o de trabajos incluidos en una publicación colectiva:

KLIMCHOUK, A. B., D. C. FORD, A. N. PALMER y W. DREYBODT (eds.) (2000). *Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers*. National Speleological Society. Huntsville (Alabama). 527 pp.

WHITE, W. B. (2007). Cave sediments and paleoclimate. *Journal of Cave and Karst Studies*, 69 (1): 76-93.

PEÑA, J. L. (1995). Los Pirineos. En M. Gutiérrez (coord.), *Geomorfología de España: 159-225*. Rueda. Madrid.

4. El texto podrá redactarse en cualquiera de las lenguas en uso en la comunidad autónoma de Aragón, en francés o en inglés.

Los caracteres en cursiva se utilizarán para los nombres científicos de géneros y de especies (entre paréntesis si siguen al nombre común) y para los neologismos intraducibles; las citas textuales, independientemente de la lengua, figurarán en letra redonda y entre comillas, y los nombres de autor que sigan a un taxón irán en redonda.

Los topónimos se escribirán en su forma original o bien en la lengua en que esté escrito el trabajo, siguiendo siempre el mismo criterio.

No se admitirán notas a pie de página.

5. Si hubiera tablas o ilustraciones (gráficos, mapas, esquemas, figuras o fotografías), el autor las ubicará en el sitio aproximado donde desee que figuren. Además del archivo completo del trabajo, las ilustraciones se enviarán en archivo específico aparte (formato tiff, jpg...) para garantizar la máxima calidad en su reproducción.

Las ilustraciones se designarán con el nombre de *figura* y se numerarán 1, 2, 3... Las *tablas* se numerarán I, II, III... Todas ellas deberán estar reseñadas en el texto.

Los pies de tablas y figuras serán claros y concisos. En el caso de que la figura presente una leyenda, esta se incluirá preferentemente en el pie.

6. La selección y aprobación de los trabajos es competencia del consejo de redacción de la revista. Todos los trabajos serán revisados previamente por un mínimo de dos expertos. Dichos *referees* serán seleccionados entre científicos del ámbito del CSIC, de la Universidad o de otras instituciones, o entre personas de reconocida valía en el tema de que se trate. Cuando el resultado de dicha revisión lo exija, el original con las pertinentes anotaciones será devuelto al autor, que deberá tenerlas en consideración.
7. El texto publicado será el resultante de la corrección de pruebas por el autor —sin añadidos que modifiquen la maquetación—, o ese mismo borrador si no se contesta en el plazo fijado.



## CONTENIDOS DEL NÚMERO 16 (2014)

### PRESENTACIÓN

Sobre la temática para publicar en *Lucas Mallada*, por José Antonio CUCHÍ

### PREFACIO

La vuelta de los grandes, por Juan HERRERO

### ARTÍCULOS

Dinosaurios y tetrápodos asociados del Maastrichtiense superior (Cretácico superior) de la provincia de Huesca, por José Ignacio CANUDO

Reducción del impacto ambiental en la edificación mediante la selección consciente de materiales de construcción: el caso de una vivienda unifamiliar construida en tierra (técnica de la tapia) en el Prepirineo aragonés, por Àngels CASTELLARNAU

Tipificación de patrones espacio-temporales y en relación con las crecidas de  $\text{NO}_3^-$ , sólidos en suspensión y sales disueltas en la cuenca del río Flumen (Huesca), por Nadia DARWICHE-CRIADO y Francisco COMÍN

Genética de las poblaciones ibéricas de trufa negra (*Tuber melanosporum*), por Iván GARCÍA-CUNCHILLOS, Sergio SÁNCHEZ, Juan José BARRIUSO y Ernesto PÉREZ-COLLAZOS

Rocas silíceas de la margen izquierda del valle medio del Ebro, por Luis Miguel GARCÍA-SIMÓN y Juan MANDADO

Fracasos en la reproducción del quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*), por predación, en el Pirineo central (Aragón), por Juan Antonio GIL y Gonzalo CHÉLIZ

Un antiguo escorial en Ballibierna (Benasque, Huesca), por José Antonio MANSO y José Antonio CUCHÍ  
Estado trófico y calidad ecológica del río Gállego a su paso por la provincia de Huesca, por Marta MICHAVILA, Rocío LÓPEZ-FLORES y José Antonio CUCHÍ

Reacciones agua-roca en la cuenca alta de los ríos Isuela y Flumen (Huesca), por Domingo MONAJ, José Luis VILLARROEL, José Antonio MANSO y José Antonio CUCHÍ

Estudio estacional de la calidad ecológica del río Cinca (Huesca) según sus comunidades de macroinvertebrados bentónicos, por Beatriz ORÓS, Rocío LÓPEZ-FLORES y José Antonio CUCHÍ

El Campo Fenero: las disputas seculares por un pequeño monte del término municipal de Biel (Zaragoza), por Ignacio PÉREZ-SOBA

Tierra Bucho (Huesca): aproximación al análisis microespacial de sus yacimientos prehistóricos, por Pilar SÁNCHEZ

