



LUCAS MALLADA

20

REVISTA DE CIENCIAS

**LUCAS
MALLADA**

LUCAS MALLADA

REVISTA DE CIENCIAS

20

HUESCA, 2018



**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, Àngels CASTELLARNAU VISÚS, Pilar CATALÁN RODRÍGUEZ, Àngel CRESPO YAGÜE, Belén DIEZMA IGLESIAS, Santiago FÁBREGAS REYGOSA, Luis Valero FRANCO GAY, Francisco Javier GARCÍA RAMOS, José GÓMEZ PORTER, Penélope GONZÁLEZ SAMPÉRIZ, Luis Àngel INDA ARAMENDÍA, Jesús INSAUSTI LÓPEZ, Juan Manuel LANTERO NAVARRO, Emilio LEO FERRANDO, Rocío LÓPEZ-FLORES, José M.^a MAÑAS PASCUAL, Clara MARTÍ DALMAU, Pablo MARTÍN-RAMOS, Jesús MONREAL PUEYO, Luis Enrique MONTANO GELLA, Antonio NAVAL MAS, José María NICOLÁU IBARRA, César PEDROCCHI RENAULT, M.^a Luisa PELEATO SÁNCHEZ, Ernesto PÉREZ-COLLAZOS, 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 / lucasmallada@iea.es

ISSN: 0214-8315 (revista impresa)

e-ISSN: 2445-060X (revista digital en acceso abierto:

<http://revistas.iea.es/index.php/LUMALL>)

Depósito legal: HU-76/2014

Imprime: Harmony Veyron, S. L.

ÍNDICE

PREFACIO

¿Para qué estudiar las aves?: la ornitología en la provincia de Huesca, por Jorge SIERRA y Jorge HERNÁNDEZ	9
--	---

ARTÍCULOS

El canal Navarra-Aragón y proyectos asociados: el Plan Susín, por José Antonio CUCHÍ	41
Aproximación a la gestión del agua en Castejón de Monegros (Huesca), por José Antonio CUCHÍ, José Luis VILLARROEL y Carlos GARCÉS	77
Las minas de cobre en Labata (Huesca), por Pablo MARTÍN-RAMOS, José Antonio CUCHÍ, José Luis VILLARROEL y Francisco BESCÓS	105
Colonización y éxito reproductivo del buitre leonado (<i>Gyps fulvus</i>) en el Parque Natural de las Bardenas Reales, por Miriam BLANCO-SADA y Ernesto PÉREZ-COLLAZOS	119
Sobre el uso de espeleotemas en construcción en el Pirineo e Ibérica, por Pablo MARTÍN-RAMOS, Pilar LAPUENTE y José Antonio CUCHÍ	139
Etología de las grullas (<i>Grus grus</i>) en la alberca de Alboré (Montmesa, Huesca), por Pablo VALLÉS	159
Evaluación del impacto del barranquismo y la resiliencia de las comunidades acuáticas del barranco de la Peonera en el Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara, por María Luisa PÉREZ y Rocío LÓPEZ-FLORES	179
Estudio hidroquímico del río Isuela (Huesca), por Héctor SAMPIETRO, Raquel ZUFIAURRE, Rocío LÓPEZ-FLORES y José Antonio CUCHÍ	219

PREFACIO

Lucas Mallada, 20, prefacio: 9 a 38
ISSN: 0214-8315, e-ISSN: 2445-060X
<http://revistas.ica.es/index.php/LUMALL>
Huesca, 2018

¿PARA QUÉ ESTUDIAR LAS AVES?: LA ORNITOLOGÍA EN LA PROVINCIA DE HUESCA

INTRODUCCIÓN

Las aves son el segundo grupo de vertebrados más abundante y diverso, solo por detrás de los peces. La gran variedad de formas y colores que presentan, su carácter migratorio, la extraordinaria habilidad para emitir sonidos y cantos, su capacidad de volar y el hecho de que la mayoría de ellas tenga hábitos diurnos, han convertido a este grupo faunístico en uno de los más atendidos, tanto por aficionados como por expertos en su estudio. Son especies, por tanto, que “se dejan ver y oír”, que son mayoritariamente diurnas, por lo que su estudio y su seguimiento es relativamente sencillo, en comparación con otros grupos de vertebrados de hábitos más crepusculares o nocturnos como los anfibios, los reptiles o los mamíferos.

LAS AVES PROPORCIONAN MÚLTIPLES SERVICIOS AMBIENTALES

Los servicios ambientales son los beneficios a las sociedades humanas que se derivan de un ecosistema natural (DAILY, 1997). En este caso son las aves, una parte del ecosistema, las que nos proporcionan unos servicios de los cuales sacamos partido.

Esos servicios se dividen, a nivel general, en cuatro categorías (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2003). Aunque pueda parecer que todos los servicios que nos ofrecen son directos, muchos de los que proporcionan las aves son más bien de carácter indirecto, es decir, las aves soportan y mejoran los ecosistemas de los que nosotros nos nutrimos.

En este sentido cabe destacar algunos *servicios de apoyo* que las aves proporcionan a los ecosistemas. Por ejemplo, algunas aves como los córvidos se comportan como unos excelentes dispersores de semillas a largas distancias, siendo el arrendajo (*Garrulus glandarius*) uno de los principales responsables de este reclutamiento de nuevos individuos en muchos bosques. Podría parecer que son estas aves los principales enemigos de las propias plantas, ya que en parte reducen la cantidad de semillas que terminará en el suelo germinando y generando una nueva plántula. Sin embargo, varios estudios afirman que son los bancos de semillas creados y a la vez olvidados por estas aves los que adquieren las condiciones climáticas adecuadas para la germinación. El caso de los reservorios de alimento de algunos córvidos es relativamente conocido, pero existen otras muchas especies de aves frugívoras que contribuyen a esta dispersión mediante la simple digestión y la excreción de semillas, como las currucas (*Sylvia* sp.), los zorzales (*Turdus* sp.) o los páridos (carboneros, herrerillos, etcétera) (HERREIRA, 2004; HERNÁNDEZ, 2007). Otros servicios de apoyo son la polinización, la consumición de materia muerta y, en términos generales, la contribución esencial que tienen en todos los ciclos biogeoquímicos.

Las aves también nos ofrecen *servicios reguladores*, por cuanto son capaces de regular determinadas plagas o los aumentos demográficos de ciertas especies que el ser humano considera molestas o perjudiciales para sí mismo, como pequeños mamíferos o insectos. Por supuesto, las aves también suponen una fuente directa de alimento o una materia prima básica para la elaboración de productos, lo que se considerarían *servicios de aprovisionamiento*, y también proporcionan servicios de un carácter más bien espiritual o *cultural*. En muchas regiones algunas aves son símbolos de identidad nacional; históricamente han supuesto una motivación o inspiración para el arte, la música, la arquitectura, y, por supuesto, el turismo ornitológico como recurso económico, que ha generado innumerables oportunidades de desarrollo en determinadas regiones, siendo la provincia de Huesca un buen ejemplo de cómo aprovechar el extraordinario potencial ornitológico del que dispone.

EL FENÓMENO DE LA MIGRACIÓN

El concepto de *migración de una especie* se puede definir como los cambios de hábitat que periódicamente se repiten y alternan en dirección,

y que tienden a asegurar condiciones ambientales óptimas en todo momento (THOMSON, 1926).

Si las aves no realizaran estos movimientos periódicos, en muchos casos sufrirían situaciones mucho más complicadas de las que se encontrarían al realizar la propia migración. Probablemente agotarían sus fuentes de alimento en la época de cría, por lo que adultos y pollos podrían morir de inanición, la competencia por zonas de cría sería mucho mayor o incluso las excesivas concentraciones de aves en un área determinada podrían atraer a un mayor número de predadores. Es, por tanto, por dos razones principales, alimentación y reproducción, por lo que las aves realizan estos desplazamientos, aunque obviamente la realidad es mucho más compleja. Algunas especies son sedentarias y no precisan cambiar de áreas, o, si lo hacen, los desplazamientos pueden ser mínimos, de unas decenas o unos pocos cientos de kilómetros. Por el contrario, especies como la mayoría de las currucas (*Sylvia* sp.), adaptadas a climas cálidos, llevan a cabo desplazamientos latitudinales enormes, alternando su estancia en un hemisferio o en otro dos veces cada año, es decir, una migración prenupcial, antes de la reproducción, y otra posnupcial, una vez finalizada esta. No obstante, dado que las aves cuentan con estrategias de supervivencia y de adaptación tan variadas, dan lugar a múltiples procesos migratorios distintos que, sin embargo, pueden englobarse en tres tipos principales, atendiendo a la dimensión física del desplazamiento que realizan.

Migraciones latitudinales

Son movimientos de norte a sur, y viceversa. En la provincia de Huesca podemos encontrar dos patrones básicos: aquellas especies que crían en el norte de Europa y que vienen hacia sus áreas ibéricas de invernada en otoño-invierno, con condiciones climáticas soportables (es el caso de especies anseriformes como el ánsar común, paseriformes como los zorzales comunes, fringílidos como los pinzones comunes o dos rapaces como el gavilán común o el milano real), o bien aquellas otras que migran desde el hemisferio sur hacia España en primavera, en busca de áreas de cría, y que realizarán el viaje de vuelta a finales de verano o en otoño (muchos de los llamados migrantes transaharianos, representados por muchos paseriformes como los carriceros, los zarceros, los mosquiteros y las currucas, o

rapaces como el alimoche común, el águila calzada, la culebrera europea o el milano negro, entre otras muchas especies).

Migraciones longitudinales

Son movimientos de este a oeste, y viceversa. Un ejemplo sería el estornino pinto, residente en el este de Europa y oeste de Asia, que migra en invierno hacia el oeste. En la provincia de Huesca, al igual que en toda la península ibérica, se dan concentraciones de varios miles en invierno, sin embargo, apenas hay citas de reproducción en Aragón y, prácticamente, todas están localizadas en la comarca de la Ribagorza, en el extremo noreste de la provincia de Huesca (SAMPIETRO y cols., 1998).

Migraciones altitudinales

Se dan en zonas de alta montaña, donde las especies realizan movimientos de mayor a menor cota en invierno. En la provincia destacan los desplazamientos que realizan las fracciones reproductoras de que disponemos en Huesca de verderones serranos, camachuelos comunes, acentores alpinos o treparriscos. Se reproducen en pinares, prados o cortados rocosos del Pirineo, y en invierno descienden, en mayor o en menor medida, a los fondos de los valles pirenaicos o más hacia el sur, sobrepasando la región prepirenaica hasta los somontanos durante algunos inviernos duros. Otras especies simplemente descienden de cota evitando la hostilidad de las cumbres nevadas, como es el caso del lagópodo o el gorrión alpino.

Grandes rutas de migración a nivel mundial

En el mundo se han descrito ocho rutas principales de migración de aves, de las cuales nada menos que dos de ellas atraviesan la península ibérica. La *ruta del Atlántico este* y la *ruta del mar Negro y del Mediterráneo* son utilizadas por millones de aves cada año, entre las que destacan limícolas, acuáticas, rapaces y un gran número de paseriformes. Dentro de España, dos puntos clave son el estrecho de Gibraltar y la cordillera pirenaica. El estrecho de Gibraltar cuenta con unas condiciones geográficas idóneas para que en él se produzca una concentración excepcional o más

bien un “embotellamiento” literal de aves migratorias, al igual que ocurre en otras regiones del mundo como en el istmo de Panamá, en Centroamérica, o en el estrecho del Bósforo, en Turquía. Estos puntos se caracterizan por contar con masas de agua extensas a ambos lados que dificultan el paso de las aves, eligiendo la mayoría de estas la opción más sencilla, es decir, el paso a través de tierra firme o, en cualquier caso, evitando en la medida de lo posible atravesar el mar abierto. En el Pirineo ocurre algo similar, aunque en menor medida, ya que las aves se han podido dispersar tras el paso a través del estrecho de Gibraltar, o bien han podido escoger rutas paralelas a las costas, pero también supone un canal de migración clave para muchas especies, de las que las más emblemáticas quizás son las grullas, las cigüeñas y muchas de las aves rapaces estivales. Actualmente, se está desarrollando un proyecto de cooperación transfronteriza entre Aragón, Navarra y Francia (Proyecto Lindus 2), basado en el seguimiento migratorio de las aves que cruzan el Pirineo, usando como puntos de conteo los puertos de Somport y del Portalet, en las comarcas de la Jacetania y del Alto Gállego.

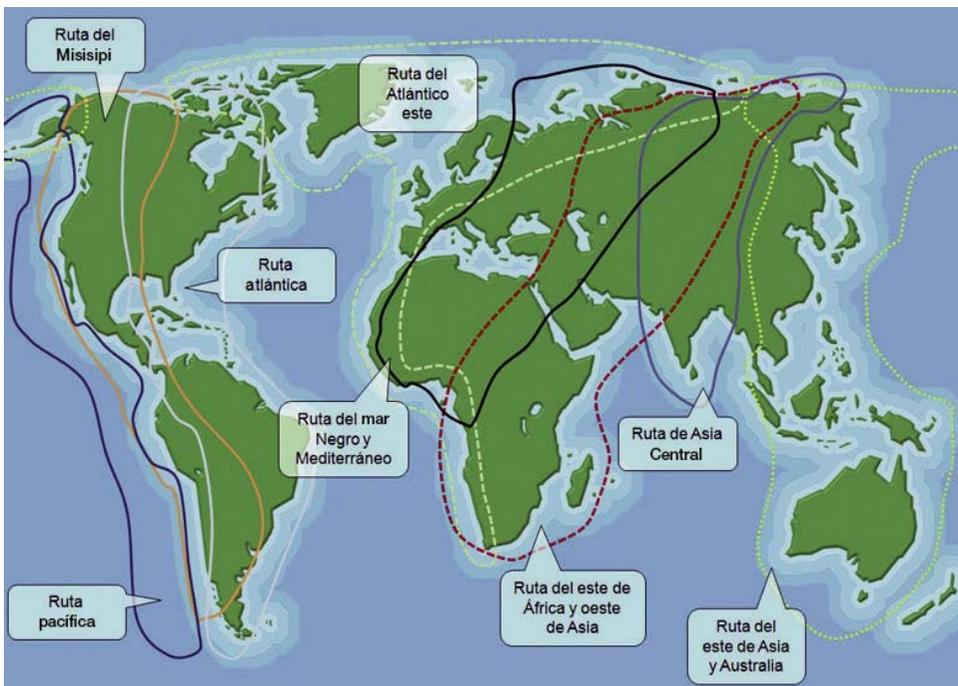


Fig. 1. Principales rutas de migración de las aves del mundo. (Fuente: www.seo.org)

*Especies accidentales o raras durante pasos migratorios:
la importancia de ciertas excepcionalidades*

Los pasos pre- y posnupciales corresponden simplemente a las dos migraciones principales que realizan muchas de las especies de nuestra región. La primera de ellas la llevan a cabo en primavera hacia las zonas de cría y la segunda en otoño hacia las zonas de invernada. Son dos momentos del año en los que aumentan considerablemente las opciones de divisar especies, por lo que el esfuerzo de observación por parte de grupos de anillamiento, expertos o simplemente observadores aficionados se eleva notablemente y, con ello, se incrementa la posibilidad de encontrar especies accidentales, “que no deberían estar allí”, en algunos casos. Nuestro propio desconocimiento puede llevarnos a encasillarlas como especies raras, y muchas veces es cierto, ya que fenómenos climáticos extremos como fuertes vientos pueden desplazar a individuos cientos de kilómetros fuera de su ruta migratoria habitual, aunque en ciertos casos puede haber otros motivos por descubrir.

El mosquitero bilistado (*Phylloscopus inornatus*) es una especie que cría en bosques boreales y de montaña en la región de Siberia, y que se desplaza hacia el sureste de Asia en invierno (SHIRIHAI y SVENSSON, 2018). En España, era considerado rareza para todo el territorio nacional por parte del Comité de Rarezas de SEO / BirdLife, el cual, hasta 2011, había homologado para el conjunto de la península ibérica y el archipiélago balear un total de 84 citas relativas a 85 individuos hasta enero de 2016 (GUTIÉRREZ y cols., 2013). En 2014, se observaron hasta 145 individuos en todo el territorio español, desde principios de octubre hasta mediados de diciembre. En Francia, la especie dejó de considerarse rareza en 2006, para cuando históricamente ya se habían recogido citas de unos mil individuos. En 2018, a mediados de octubre, ya se habían observado más de quinientos ejemplares.

Este incremento tan acusado del número de registros en los últimos años y el hecho de que la mayoría de individuos capturados para anillamiento estén en buenas condiciones físicas parece descartar un movimiento accidental de la especie por condiciones meteorológicas adversas, y podría explicarse mediante la teoría de la migración invertida, la cual contempla una rotación de unos 180 grados con respecto a la ruta migratoria normal, por lo que algunos individuos migrarían en dirección oeste



Fig. 2. Izquierda: mosquitero bilistado (*Phylloscopus inornatus*), observado por Juan Carlos Albero en el embalse de La Sotonera el 28 de octubre de 2016. (Fotografía: Juan Carlos Albero). Derecha: mosquitero de Pallas (*Phylloscopus proregulus*), localizado por Francisco Javier Quesada en el casco urbano de Huesca el 9 de mayo de 2018. Primera cita de esta especie en Aragón y cuarto registro conocido en el interior peninsular de una especie que quizás esté realizando desplazamientos similares al mosquitero bilistado, aunque seguramente en cantidades mucho más bajas. (Fotografía: Daniel Cazo)

para luego dirigirse hacia el sur e invernar finalmente en África, en lugar de hacerlo en dirección sureste hacia Asia. Este cambio de ruta podría estar dando lugar a tasas de supervivencia más altas y, como resultado, una tendencia innata cada vez mayor a desplazarse en dirección suroeste (DE JUANA, 2008). Algunos autores también achacan este aumento de observaciones en el noroeste de Europa a la mayor densidad de observadores en estas áreas (PHILLIPS, 2000), o al esfuerzo de búsqueda dirigido hacia estas especies poco comunes por parte de estos. Otros, sin embargo, afirman que las diferencias en el reparto de los registros entre países son mucho mayores que las que pudieran derivar de las desiguales densidades de observadores (DE JUANA, 2008).

En cualquier caso, las teorías propuestas son varias, y con el transcurso de los años se podrán afinar los motivos de estas apariciones que ya hace unos años son regulares en nuestra región. Este caso expuesto lo que pretende enfatizar es que observaciones puntuales o excepcionales de unos individuos de una especie pueden llegar a esconder tras de sí cambios de comportamiento a escala global o una variación de un patrón migratorio de un grupo de individuos de una especie desconocida hasta ese momento.

Si nos referimos a aves invasoras, las citas aisladas también cobran mucha importancia, ya que pueden estar señalando un establecimiento de poblaciones viables por sí mismas, que en casos extremos, como el de las cotorras de Kramer, su proliferación en ciudades ha ocasionado graves problemas, tanto al ser humano como a especies de fauna autóctonas, como está ocurriendo con el murciélago noctulo gigante en Sevilla.

En la provincia de Huesca, un ejemplo reciente lo encontramos en el área pirenaica, donde tras dos avistamientos en 2014 y 2017, este año se ha citado por tercera vez un ruiseñor del Japón o leiothrix piquirrojo (*Leiothrix lutea*). Las tres citas han tenido lugar en la zona occidental pirenaica y se trata de una especie que cuenta con poblaciones asentadas en Francia y en España (AODA, 2018), incluido el Pirineo navarro, por lo que no ha de descartarse una posible reproducción de la especie en el Pirineo oscense.



Fig. 3. Leiothrix piquirrojo (*Leiothrix lutea*), localizado en la Selva de Oza el 17 de enero de 2017. (Fotografía: Sergio Padura)

Tabla 1. Principales categorías de clasificación y número de especies de aves en cada una de las categorías.

<i>Descripción</i>		<i>Subcategorías</i>	<i>España</i>	<i>Aragón</i>	<i>Huesca</i>
A	Especies que han sido citadas en estado aparentemente natural al menos una vez desde el 1 de enero de 1950.		544	363	341
B	Especies que habían sido citadas en estado aparentemente natural por lo menos una vez hasta el 31 de diciembre de 1949, pero que no han sido citadas posteriormente.		9	2	1
C	Especies que, habiendo sido introducidas o reintroducidas por el hombre deliberada o accidentalmente en la región, han establecido poblaciones reproductoras que se mantienen por sí mismas.	<i>C₁. Introducidas naturalizadas</i>	7	5	5
		<i>C₂. Naturalizadas parciales</i>	0	0	0
		<i>C₃. Reintroducciones</i>	0	0	0
		<i>C₄. Asilvestradas</i>	1	1	1
		<i>C₅. Naturalizadas erráticas</i>	8	7	6
D	Especies que deberían aparecer con categorías A o B, pero hay dudas razonables de que jamás se hayan observado en estado natural.		14	4	0
E	Especies que, habiendo sido introducidas o reintroducidas por el hombre deliberada o accidentalmente en la región, no han establecido poblaciones reproductoras que se mantengan por ellas mismas.	<i>E₁. Posible categoría C</i>	—	1	0
		<i>E₂. Naturalizadas parciales</i>	—	9	2
		<i>E₃. Reintroducciones</i>	—	21	7
			323		

Las especies citadas en Aragón hasta la fecha se han calculado a partir de los datos del *Anuario Ornitológico de Aragón*. Las especies de España se han obtenido de la *Lista de las aves de España* (GUTIÉRREZ y cols., 2012) y de la *Lista de aves invasoras en España* (Grupo de Aves Exóticas, 2006). No se contabilizan las citas de especies de Huesca o de Aragón que no hayan sido homologadas por el Comité de Rarezas de SEO / BirdLife, pero sí se consideran todas las citas de especies invasoras. (Fuente: Elaboración propia)

LA AVIFAUNA NIDIFICANTE EN HUESCA

Si analizamos las particularidades ambientales de la provincia de Huesca, en una primera aproximación debemos decir que la península ibérica se encuentra prácticamente en el extremo sureste del Paleártico occidental (BLONDEL y cols., 1973), lo que supone una confluencia de aves de latitudes medias y árticas del hemisferio norte con otras de carácter circunmediterráneo (SAMPIETRO y cols., 1998). En un segundo nivel de acercamiento, Huesca se encuentra inmersa dentro de la región eurosiberiana en su mitad más septentrional y dentro de la región mediterránea, hacia el sur de las sierras prepirenaicas, constituyendo estas sierras un límite norte-sur entre ambas regiones y teniendo estas todavía una influencia oceánica en su parte noroccidental. Dentro de estas dos regiones, los pisos bioclimáticos representados en Huesca son el montano, el subalpino y el alpino, en la región eurosiberiana, y los pisos meso y supramediterráneo en la región mediterránea. Son estas regiones y sus correspondientes subdivisiones las que envuelven y conforman a los distintos hábitats, además de otros muchos factores topobiogeográficos que intervienen en ellos, como el relieve, el clima, las características edáficas, la altitud o la exposición, que participan en la configuración de la fisionomía de la vegetación y, por supuesto, la actividad antrópica, la cual es independiente de los factores naturales y es decisiva como elemento moldeador del biotopo (SAMPIETRO y cols., 1998).

Así, en una provincia de relativa extensión como es la que nos ocupa, contamos con amplias regiones alpinas propias de las sierras interiores, otras amplias estribaciones, aunque de menor envergadura como son las sierras prepirenaicas, las cuales dan paso a través de sus piedemontes a los somontanos de Huesca y Barbastro, y descendiendo paulatinamente hacia el sur, nos encontramos con otros ambientes mucho más influenciados por la depresión del Ebro, como las regiones semiáridas de la comarca de los Monegros.

En este artículo se pretende hacer un resumen de la distribución de las especies nidificantes por pisos bioclimáticos, según aparece descrita en el *Atlas de especies nidificantes de Aragón*, y realizando un pequeño ajuste de modo que refleje la situación de la provincia de Huesca. Obviamente, no es posible hacer referencia a todas las especies de cada piso bioclimático, pero sí a algunas de las más comunes junto con las más representativas de cada uno de los pisos, o bien aquellas especies que nos diferencian de otras provincias

o regiones, como es el caso de las ligadas a la región alpina o a zonas esteparias; y es que Huesca tiene la particularidad de contar con estos dos ambientes tan opuestos a una distancia de poco más de cien kilómetros.

Especies de distribución eurosiberiana

Especies de los pisos subalpino y alpino

Engloba especies asociadas a prados y roquedos de las cotas más altas del Pirineo oscense (el acentor alpino, el treparriscos, la chova piquigualda,



Fig. 4. Las tres comúnmente llamadas *perdices*, autóctonas de la península ibérica (el lagópodo alpino o la perdiz nival, la perdiz pardilla y la perdiz roja), todas ellas con poblaciones nidificantes en la provincia, aunque cada una ocupando hábitats distintos, en estos casos diferenciados en gran medida por la altitud. (Fotografías: Jesús Lavedán)

el gorrión alpino) y de un ave característica de la taiga (el mochuelo boreal o la lechuza de Tengmalm). En estos pisos destaca la presencia de un ave de tipo ártico, el lagópodo alpino.

Especies de los pisos montano y subalpino

Conforme descendemos de cota, las condiciones se van suavizando y vamos encontrando especies típicas de bosques (coníferas y hayedos) y de prados húmedos y fríos. Algunas de las especies representativas son la tarabilla norteña, el carbonero palustre, el agateador norteño, el escribano cerillo, el urogallo, el pico dorsiblanco o el mirlo capiblanco, entre otras.

Especies de distribución mediterránea

Especies de los pisos meso y supramediterráneo

Se trata de aves limitadas por la altitud, que no supera los 1100-1400 metros y que generalmente no encuentran hábitats favorables en la región pirenaica. Aquí estarían incluidas un buen número de aves esteparias: la avutarda euroasiática, el sisón común, la ortega, la alondra de Dupont, la calandria, la collalba negra, la curruca tomillera o el alcaraván. También se encuentran varias especies típicas de matorral o arbolado como el críalo, el zarce-ro polígloa, las curruca cabecinegra y mirlona y una rapaz rupícola, el águila perdicera. Por otra parte, este grupo se completa con muchas aves ligadas a medios acuáticos, que colonizan humedales o embalses y riberas de tramos medios y bajos de grandes ríos de la provincia, como el zampullín común, el somormujo lavanco, el aguilucho lagunero occidental, especies ligadas a carrizal como el buitrón y el carricero tordal y varias anátidas holárticas, entre otras.

ESPECIES CIRCUNSCRITAS AL PISO MESOMEDITERRÁNEO

Son especies termófilas principalmente, ligadas a medios esteparios como el cernícalo primilla, la ganga ibérica o la terrera marismeña, otras especies termófilas como la carraca europea, el chotacabras cuellirojo o el alcaudón chico (extinto en Huesca), o aves acuáticas asociadas a grandes ríos como el martinete común, la garcilla bueyera, la garceta común o las



Fig. 5. Los cuatro alcaudones nidificantes en España: superior derecha: alcaudón común; superior izquierda: alcaudón dorsirrojo; izquierda: alcaudón real; derecha: alcaudón chico. Todos ellos suelen habitar en terrenos bajos y abiertos, generalmente cerca de cultivos o huertos, siendo el alcaudón dorsirrojo el que alcanza cotas más altas, de media montaña. Todos estivales en la provincia de Huesca, excepto el alcaudón real, que es residente durante todo el año. El alcaudón chico se encuentra extinto en la provincia. La imagen corresponde a uno de los dos progenitores de la última pareja conocida de Huesca, en el valle del Cinca.
(Fotografías: Daniel Cazo, Jaime Solana y José Damián Moreno)

garzas real e imperial, como principales y más comunes representantes de estos cursos fluviales.

CONCLUSIÓN

La provincia de Huesca cuenta con una heterogeneidad climática, litológica y topográfica que propicia un ambiente ecológicamente muy diverso. Como consecuencia de ello, el número de especies de aves que nidifican en ella es ciertamente elevado, si lo comparamos con muchas otras regiones de España o de Europa. Además, su posición geográfica la convierte también en una zona de paso o parada esenciales para muchas especies migratorias, ya



Fig. 6. Los cinco gorriónes autóctonos de la península ibérica: superior derecha: gorrión alpino; superior izquierda: gorrión moruno; izquierda: gorrión chillón; derecha: gorrión molinero; inferior: gorrión común. De los que cuatro de ellos son nidificantes regulares en la provincia, a excepción del gorrión moruno, que es un nidificante irregular y escaso, con muy pocas citas de reproducción conocidas en Aragón y, hasta la fecha, ninguna en la provincia de Huesca. (Fotografías: Jesús Lavedán y Daniel Cazo)

sean nidificantes en nuestra región o no. Contamos con una fracción muy relevante de la población total de varias especies amenazadas, como es el caso del quebrantahuesos, el alimoche o el buitre leonado, bien conservada en gran medida gracias a una buena gestión por parte de la Administración aragonesa. No obstante, otras especies como muchas de las aves esteparias presentes en Huesca y en Aragón están sufriendo un retroceso crítico de sus poblaciones, que requieren de cambios urgentes en ciertas políticas territoriales. Para conservar es necesario disponer de la mayor cantidad de información posible, por lo que queremos hacer hincapié en el valor que tienen hoy en día las plataformas de ciencia ciudadana, ya sean a nivel local como *avesdehuesca.es* u otras de uso ampliamente extendido a nivel europeo o incluso mundial, como son *Observation.org* o *eBird.org*, en las que todos podemos contribuir anotando nuestras observaciones, y cuyos datos pueden ser muy valiosos de cara a elaborar estrategias conjuntas de conservación en el futuro. En Aragón también se lleva a cabo un magnífico esfuerzo de recopilación de citas por parte del grupo del *Anuario Ornitológico de Aragón* (AODA). Creemos que es vital continuar con este trabajo de recopilación e incluso extenderlo hacia una nueva actualización del *Atlas de aves de Aragón*, cumpliendo a su vez con una obligación de seguimiento y de protección de las aves, impuesta por un texto legal de tal importancia como es la Ley 42/2007, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, que es la que integra en el ordenamiento jurídico español lo establecido por la Directiva Europea de Aves.

AGRADECIMIENTOS

A todos los que nos han cedido amablemente las fotografías o nos han orientado en la elaboración del listado de aves de Huesca, en particular a Alberto Bueno por esta tarea y, en general, a todos los compañeros y amigos con los que nos iniciamos y continuamos aprendiendo y disfrutando de este apasionante mundo de las aves, especialmente a los compañeros del Grupo Ornitológico Oscense.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AODA (*Anuario Ornitológico de Aragón*) (2018). <<http://anuariorocin.blogspot.com/2018>>.
- BLONDEL, J., C. FERRY y B. FROCHOT (1973). Avifaune et végétation, essai d'analyse de la diversité. *Alauda*, 41 (1-2): 63-84.

- DAILY, G. C. (1997). *Nature's services*. Island Press. Washington, DC.
- DE JUANA, E. (2008). Where do Pallas's and Yellow-browed Warblers (*Phylloscopus proregulus*, *Ph. inornatus*) go after visiting Northwest Europe in Autumn? An Iberian perspective. *Ardeola*, 55 (2): 179-192.
- GRUPO DE AVES EXÓTICAS (2006). *Aves invasoras en España: Lista de especies en España en las categorías CYE*. GAE – SEO / BirdLife.
- GUTIÉRREZ, R., E. DE JUANA y J. A. LORENZO (2012). *Lista de las aves de España*. SEO / BirdLife [online]: <http://www.seo.org/wp-content/uploads/2012/10/Lista_-Aves_Espana_2012.pdf [consulta: 8/11/2018].
- GUTIÉRREZ, R., J. A. LORENZO, J. ELORRIAGA, G. GOROSPE, D. LÓPEZ-VELASCO, J. MARTÍ-ALEDO, G. RODRÍGUEZ y S. SALES (2012). Observaciones de aves raras en España, 2011. *Ardeola*, 60 (2): 437-506.
- HERNÁNDEZ, Á. (2007). Alimentación de aves frugívoras en setos y bordes de bosque del norte de España: importancia de algunas especies de plantas en invierno y primavera. *Ecología*, 21: 145-156.
- HERRERA, C. M.^a (2004). Ecología de los pájaros frugívoros ibéricos. En J. L. Tellería, *La ornitología hoy. Homenaje al profesor Francisco Bernis Madrazo*: 127-153. Universidad Complutense. Madrid.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2003). *Millennium Ecosystem Assessment (MA): Strengthening Capacity to Manage Ecosystems Sustainably for Human Well-Being*. World Resources Institute.
- PHILLIPS, J. (2000). Autumn vagrancy: Reverse migration and migratory orientation. *Ringing and Migration*, 20: 35-38.
- SAMPIETRO, F. J., E. PELAYO, F. HERNÁNDEZ, M. CABRERA y J. GUIRAL (1998). *Aves de Aragón. Atlas de especies nidificantes*. DGA / Ibercaja. Zaragoza.
- SHIRIHAI, H., y L. SVENSSON (2018). *Handbook of Western Palearctic Birds. Passerines: Larks to Warblers*. Vol. 1. 2 vols. Helm. Londres.
- THOMSON, L. A. (1926). Problems of Bird-Migration. *Nature*, 117 (mayo): 712-714.

Jorge SIERRA¹ | Jorge HERNÁNDEZ²

¹ Avenida Pirineos 33, esc. izda. E-22300 BARBASTRO. jorgesierra@gmail.com

² C/ Fuente del Ibón, 8, 5.º izda. E-22003 HUESCA. jorgefumanal@hotmail.com

ANEXO 1. LISTADO DE AVES EN EL ALTO ARAGÓN

En la lista aparecen todas las especies citadas al menos una vez en la provincia desde que se dispone de registros por escrito. Se excluyen aquellos taxones incluidos en las categorías A, B y C que no hayan sido homologados por el Comité de Rarezas de SEO / BirdLife, así como todos los taxones de las categorías D y E.

<i>Familia</i>	<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>
<i>Anatidae</i>		
A	Ánade azulón	<i>Anas platyrhynchos</i>
A	Ánade friso	<i>Anas strepera</i>
A	Ánade rabudo	<i>Anas acuta</i>
A	Ánsar careto	<i>Anser albifrons</i>
A	Ánsar común	<i>Anser anser</i>
C5	Ánsar indio	<i>Anser indicus</i>
A	Ánsar piquicorto	<i>Anser brachyrhynchus</i>
C5	Barnacla canadiense grande	<i>Branta canadensis</i>
A	Barnacla cariblanca	<i>Branta leucopsis</i>
A	Barnacla carinegra	<i>Branta bernicla</i>
A	Cerceta aliazul	<i>Anas discors</i>
A	Cerceta carretona	<i>Anas querquedula</i>
A	Cerceta común	<i>Anas crecca</i>
A	Cisne chico	<i>Cygnus columbianus</i>
A	Cisne vulgar	<i>Cygnus olor</i>
A	Cuchara común	<i>Anas clypeata</i>
C5	Ganso del Nilo	<i>Alopochen aegyptiaca</i>
A	Malvasía cabeciblanca	<i>Oxyura leucocephala</i>
C5	Malvasía canela	<i>Oxyura jamaicensis</i>
A	Pato colorado	<i>Netta rufina</i>
C5	Pato mandarín	<i>Aix galericulata</i>
A	Porrón acollarado	<i>Aythya collaris</i>

* Extinto en España aproximadamente desde los años setenta.

** Extinto en Aragón pero no en España.

<i>Familia</i>	<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>
<i>Anatidae</i>		
A	Porrón albeola	<i>Bucephala albeola</i>
A	Porrón bastardo	<i>Aythya marila</i>
A	Porrón europeo	<i>Aythya ferina</i>
A	Porrón moñudo	<i>Aythya fuligula</i>
A	Porrón osculado	<i>Bucephala clangula</i>
A	Porrón pardo	<i>Aythya nyroca</i>
A	Serreta chica	<i>Mergellus albellus</i>
A	Serreta grande	<i>Mergus merganser</i>
A	Serreta mediana	<i>Mergus serrator</i>
A	Silbón europeo	<i>Anas penelope</i>
A	Tarro blanco	<i>Tadorna tadorna</i>
A	Tarro canelo	<i>Tadorna ferruginea</i>
<i>Tetraonidae</i>		
B	Grévol común (extinto)*	<i>Tetrastes bonasia</i>
A	Lagópodo alpino	<i>Lagopus muta</i>
A	Urogallo común	<i>Tetrao urogallus</i>
<i>Phasianidae</i>		
A	Codorniz común	<i>Coturnix coturnix</i>
C1	Faisán vulgar	<i>Phasianus colchicus</i>
A	Perdiz pardilla	<i>Perdix perdix</i>
A	Perdiz roja	<i>Alectoris rufa</i>
<i>Gaviidae</i>		
A	Colimbo chico	<i>Gavia stellata</i>
A	Colimbo grande	<i>Gavia immer</i>
<i>Podicipedidae</i>		
A	Somormujo cuellirrojo	<i>Podiceps grisegena</i>
A	Somormujo lavanco	<i>Podiceps cristatus</i>
A	Zampullín común	<i>Tachybaptus ruficollis</i>
A	Zampullín cuellinegro	<i>Podiceps nigricollis</i>
A	Zampullín cuellirrojo	<i>Podiceps auritus</i>

<i>Familia</i>	<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>
<i>Hydrobatidae</i>		
A	Paño europeo	<i>Hydrobates pelagicus</i>
<i>Phalacrocoracidae</i>		
A	Cormorán grande	<i>Phalacrocorax carbo</i>
A	Cormorán moñudo	<i>Phalacrocorax aristoteli</i>
<i>Pelecanidae</i>		
A	Pelicano común	<i>Pelecanus onocrotalus</i>
A	Pelicano rosado	<i>Pelecanus rufescens</i>
<i>Ardeidae</i>		
A	Avetorillo común	<i>Ixobrychus minutus</i>
A	Avetoro común	<i>Botaurus stellaris</i>
A	Garceta común	<i>Egretta garzetta</i>
A	Garceta dimorfa	<i>Egretta gularis</i>
A	Garceta grande	<i>Egretta alba</i>
A	Garcilla bueyera	<i>Bubulcus ibis</i>
A	Garcilla cangrejera	<i>Ardeola ralloides</i>
A	Garza imperial	<i>Ardea purpurea</i>
A	Garza real	<i>Ardea cinerea</i>
A	Martinete común	<i>Nycticorax nycticorax</i>
<i>Ciconiidae</i>		
A	Cigüeña blanca	<i>Ciconia ciconia</i>
A	Cigüeña negra	<i>Ciconia nigra</i>
A	Marabú africano	<i>Leptoptilos crumenifer</i>
<i>Threskiornithidae</i>		
A	Espátula común	<i>Platalea leucorodia</i>
C5	Ibis sagrado	<i>Threskiornis aethiopicus</i>
A	Morito común	<i>Plegadis falcinellus</i>
<i>Phoenicopteridae</i>		
A	Flamenco común	<i>Phoenicopus roseus</i>
<i>Accipitridae</i>		
A	Abejero europeo	<i>Pernis apivorus</i>
A	Águila calzada	<i>Aquila pennata</i>

<i>Familia</i>	<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>
<i>Accipitridae</i>		
A	Águila imperial ibérica	<i>Aquila adalberti</i>
A	Águila imperial oriental	<i>Aquila heliaca</i>
A	Águila moteada	<i>Aquila clanga</i>
A	Águila perdicera	<i>Aquila fasciata</i>
A	Águila real	<i>Aquila chrysaetos</i>
A	Aguilucho cenizo	<i>Circus pygargus</i>
A	Aguilucho lagunero occidental	<i>Circus aeruginosus</i>
A	Aguilucho pálido	<i>Circus cyaneus</i>
A	Aguilucho papialbo	<i>Circus macrourus</i>
A	Alimoche común	<i>Neophron percnopterus</i>
A	Azor común	<i>Accipiter gentilis</i>
A	Buitre dorsiblanco africano	<i>Gyps africanus</i>
A	Buitre leonado	<i>Gyps fulvus</i>
A	Buitre moteado	<i>Gyps rueppellii</i>
A	Buitre negro	<i>Aegypius monachus</i>
A	Busardo ratonero	<i>Buteo buteo</i>
A	Culebrera europea	<i>Circaetus gallicus</i>
A	Elanio común	<i>Elanus caeruleus</i>
A	Gavilán común	<i>Accipiter nisus</i>
A	Milano negro	<i>Milvus migrans</i>
A	Milano real	<i>Milvus milvus</i>
A	Pigargo europeo	<i>Haliaeetus albicilla</i>
A	Quebrantahuesos	<i>Gypaetus barbatus</i>
<i>Pandionidae</i>		
A	Águila pescadora	<i>Pandion haliaetus</i>
<i>Falconidae</i>		
A	Alcotán europeo	<i>Falco subbuteo</i>
A	Cernícalo patirrojo	<i>Falco vespertinus</i>
A	Cernícalo primilla	<i>Falco naumanni</i>
A	Cernícalo vulgar	<i>Falco tinnunculus</i>
A	Esmerejón	<i>Falco columbarius</i>

<i>Familia</i>	<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>
<i>Falconidae</i>		
A	Halcón de Eleonora	<i>Falco eleonora</i>
A	Halcón peregrino	<i>Falco peregrinus</i>
A	Halcón sacre	<i>Falco cherrug</i>
<i>Rallidae</i>		
A	Calamón común	<i>Porphyrio porphyrio</i>
A	Focha común	<i>Fulica atra</i>
A	Gallineta común	<i>Gallinula chloropus</i>
A	Guion de codornices	<i>Crex crex</i>
A	Polluela bastarda	<i>Porzana parva</i>
A	Polluela chica	<i>Porzana pusilla</i>
A	Polluela pintoja	<i>Porzana porzana</i>
A	Rascón europeo	<i>Rallus aquaticus</i>
<i>Gruidae</i>		
A	Grulla común	<i>Grus grus</i>
<i>Otidae</i>		
A	Avutarda común	<i>Otis tarda</i>
A	Sisón común	<i>Tetrax tetrax</i>
<i>Haematopodidae</i>		
A	Ostrero euroasiático	<i>Haematopus ostralegus</i>
<i>Recurvirostridae</i>		
A	Avoceta común	<i>Recurvirostra avosetta</i>
A	Cigüeñuela común	<i>Himantopus himantopus</i>
<i>Burhinidae</i>		
A	Alcaraván común	<i>Burhinus oediconemus</i>
<i>Glareolidae</i>		
A	Canastera común	<i>Glareola pratincola</i>
<i>Charadriidae</i>		
A	Avefría europea	<i>Vanellus vanellus</i>
A	Avefría sociable	<i>Vanellus gregarius</i>
A	Chorlitejo chico	<i>Charadrius dubius</i>
A	Chorlitejo grande	<i>Charadrius hiaticula</i>

<i>Familia</i>	<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>
<i>Charadriidae</i>		
A	Chorlitojeo patinegro	<i>Charadrius alexandrinus</i>
A	Chorlito carambolo	<i>Charadrius morinellus</i>
A	Chorlito dorado americano	<i>Pluvialis dominica</i>
A	Chorlito dorado europeo	<i>Pluvialis apricaria</i>
A	Chorlito dorado siberiano	<i>Pluvialis fulva</i>
A	Chorlito gris	<i>Pluvialis squatarola</i>
<i>Scolopacidae</i>		
A	Agachadiza chica	<i>Lymnocyptes minimus</i>
A	Agachadiza común	<i>Gallinago gallinago</i>
A	Agachadiza real	<i>Gallinago media</i>
A	Aguja colinegra	<i>Limosa limosa</i>
A	Aguja colipinta	<i>Limosa lapponica</i>
A	Agujeta escolopácea	<i>Limnodromus scolopaceus</i>
A	Andarríos bastardo	<i>Tringa glareola</i>
A	Andarríos chico	<i>Actitis hypoleucos</i>
A	Andarríos grande	<i>Tringa ochropus</i>
A	Archibebe claro	<i>Tringa nebularia</i>
A	Archibebe común	<i>Tringa totanus</i>
A	Archibebe fino	<i>Tringa stagnatilis</i>
A	Archibebe oscuro	<i>Tringa erythropus</i>
A	Chocha perdiz	<i>Scolopax rusticola</i>
A	Combatiente	<i>Philomachus pugnax</i>
A	Correlimos canelo	<i>Tryngites subruficollis</i>
A	Correlimos común	<i>Calidris alpina</i>
A	Correlimos culiblanco	<i>Calidris fuscicollis</i>
A	Correlimos de Temminck	<i>Calidris temminckii</i>
A	Correlimos gordo	<i>Calidris canutus</i>
A	Correlimos menudo	<i>Calidris minuta</i>
A	Correlimos oscuro	<i>Calidris maritima</i>
A	Correlimos pectoral	<i>Calidris melanotos</i>
A	Correlimos tridáctilo	<i>Calidris alba</i>

<i>Familia</i>	<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>
<i>Scolopacidae</i>		
A	Correlimos zarapitín	<i>Calidris ferruginea</i>
A	Falaropo picofino	<i>Phalaropus lobatus</i>
A	Falaropo picogruoso	<i>Phalaropus fulicarius</i>
A	Vuelvepiedras común	<i>Arenaria interpres</i>
A	Zarapito real	<i>Numenius arquata</i>
A	Zarapito trinador	<i>Numenius phaeopus</i>
<i>Stercorariidae</i>		
A	Págalo grande	<i>Stercorarius skua</i>
A	Págalo parásito	<i>Stercorarius parasiticus</i>
A	Págalo pomarino	<i>Stercorarius pomarinus</i>
A	Págalo rabero	<i>Stercorarius longicaudus</i>
<i>Laridae</i>		
A	Gaviota argétea europea	<i>Larus argentatus</i>
A	Gaviota cabecinegra	<i>Larus melanocephalus</i>
A	Gaviota cana	<i>Larus canus</i>
A	Gaviota de Audouin	<i>Larus audouinii</i>
A	Gaviota del Caspio	<i>Larus cachinnans</i>
A	Gaviota enana	<i>Hydrocoloeus minutus</i>
A	Gaviota patiamarilla	<i>Larus michahellis</i>
A	Gaviota picofina	<i>Chroicocephalus genei</i>
A	Gaviota reidora	<i>Chroicocephalus ridibundus</i>
A	Gaviota sombría	<i>Larus fuscus</i>
A	Gaviota tridáctila	<i>Rissa tridactyla</i>
<i>Sternidae</i>		
A	Charrán bengalí	<i>Sterna bengalensis</i>
A	Charrán común	<i>Sterna hirundo</i>
A	Charrán elegante	<i>Sterna elegans</i>
A	Charrán patinegro	<i>Sterna sandvicensis</i>
A	Charrancito común	<i>Sternula albifrons</i>
A	Fumarel aliblanco	<i>Chlidonias leucopterus</i>
A	Fumarel cariblanco	<i>Chlidonias hybrida</i>

<i>Familia</i>	<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>
<i>Sternidae</i>		
A	Fumarel común	<i>Chlidonias niger</i>
A	Pagaza piconegra	<i>Gelochelidon nilotica</i>
A	Pagaza piquirroja	<i>Hydroprogne caspia</i>
<i>Pteroclididae</i>		
A	Ganga ibérica	<i>Pterocles alchata</i>
A	Ganga ortega	<i>Pterocles orientalis</i>
<i>Columbidae</i>		
A	Paloma bravía	<i>Columba livia</i>
A	Paloma torcaz	<i>Columba palumbus</i>
A	Paloma zurita	<i>Columba oenas</i>
A	Tórtola europea	<i>Streptopelia turtur</i>
C4	Tórtola rosigrís	<i>Streptopelia risoria</i>
A	Tórtola turca	<i>Streptopelia decaocto</i>
<i>Psittacidae</i>		
C1	Cotorra argentina	<i>Myiopsitta monachus</i>
C1	Cotorra de Kramer	<i>Psittacula krameri</i>
<i>Cuculidae</i>		
A	Críalo europeo	<i>Clamator glandarius</i>
A	Cuco común	<i>Cuculus canorus</i>
<i>Tytonidae</i>		
A	Lechuza común	<i>Tyto alba</i>
<i>Strigidae</i>		
A	Autillo europeo	<i>Otus scops</i>
A	Búho campestre	<i>Asio flammeus</i>
A	Búho chico	<i>Asio otus</i>
A	Búho real	<i>Bubo bubo</i>
A	Cárabo común	<i>Strix aluco</i>
A	Mochuelo boreal	<i>Aegolius funereus</i>
A	Mochuelo común	<i>Athene noctua</i>
<i>Caprimulgidae</i>		
A	Chotacabras cuellirrojo	<i>Caprimulgus ruficollis</i>

<i>Familia</i>	<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>
<i>Caprimulgidae</i>		
A	Chotacabras europeo	<i>Caprimulgus europaeus</i>
<i>Apodidae</i>		
A	Vencejo común	<i>Apus apus</i>
A	Vencejo pálido	<i>Apus pallidus</i>
A	Vencejo real	<i>Apus melba</i>
<i>Alcedinidae</i>		
A	Martín pescador común	<i>Alcedo atthis</i>
<i>Meropidae</i>		
A	Abejaruco europeo	<i>Merops apiaster</i>
<i>Coraciidae</i>		
A	Carraca europea	<i>Coracias garrulus</i>
<i>Upupidae</i>		
A	Abubilla	<i>Upupa epops</i>
<i>Picidae</i>		
A	Picamaderos negro	<i>Dryocopus martius</i>
A	Pico dorsiblanco	<i>Dendrocopos leucotos</i>
A	Pico menor	<i>Dendrocopos minor</i>
A	Pico picapinos	<i>Dendrocopos major</i>
A	Pito real	<i>Picus viridis</i>
A	Torcecuello euroasiático	<i>Jynx torquilla</i>
<i>Alaudidae</i>		
A	Alondra común	<i>Alauda arvensis</i>
A	Alondra ricotí	<i>Chersophilus duponti</i>
A	Alondra totovía	<i>Lullula arborea</i>
A	Calandria común	<i>Melanocorypha calandra</i>
A	Cogujada común	<i>Galerida cristata</i>
A	Cogujada montesina	<i>Galerida theklae</i>
A	Terrera común	<i>Calandrella brachydactyla</i>
A	Terrera marismeña	<i>Alaudala rufescens</i>
<i>Hirundinidae</i>		
A	Avión común	<i>Delichon urbicum</i>

<i>Familia</i>	<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>
<i>Hirundinidae</i>		
A	Avión roquero	<i>Ptyonoprogne rupestris</i>
A	Avión zapador	<i>Riparia riparia</i>
A	Golondrina común	<i>Hirundo rustica</i>
A	Golondrina dáurica	<i>Cecropis daurica</i>
<i>Motacillidae</i>		
A	Bisbita alpino	<i>Anthus spinoletta</i>
A	Bisbita arbóreo	<i>Anthus trivialis</i>
A	Bisbita campestre	<i>Anthus campestris</i>
A	Bisbita costero	<i>Anthus petrosus</i>
A	Bisbita gorgirrojo	<i>Anthus cervinus</i>
A	Bisbita pratense	<i>Anthus pratensis</i>
A	Lavandera blanca	<i>Motacilla alba</i>
A	Lavandera boyera	<i>Motacilla flava</i>
A	Lavandera cascadeña	<i>Motacilla cinerea</i>
A	Lavandera cetrina	<i>Motacilla citreola</i>
<i>Cinclidae</i>		
A	Mirlo acuático europeo	<i>Cinclus cinclus</i>
<i>Troglodytidae</i>		
A	Chochín común	<i>Troglodytes troglodytes</i>
<i>Prunellidae</i>		
A	Acentor alpino	<i>Prunella collaris</i>
A	Acentor común	<i>Prunella modularis</i>
<i>Turdidae</i>		
A	Colirrojo real	<i>Phoenicurus phoenicurus</i>
A	Colirrojo tizón	<i>Phoenicurus ochruros</i>
A	Collalba gris	<i>Oenanthe oenanthe</i>
A	Collalba negra	<i>Oenanthe leucura</i>
A	Collalba rubia	<i>Oenanthe hispanica</i>
A	Mirlo capiblanco	<i>Turdus torquatus</i>
A	Mirlo común	<i>Turdus merula</i>
A	Petirrojo europeo	<i>Erithacus rubecula</i>

<i>Familia</i>	<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>
<i>Turdidae</i>		
A	Roquero rojo	<i>Monticola saxatilis</i>
A	Roquero solitario	<i>Monticola solitarius</i>
A	Ruiseñor común	<i>Luscinia megarhynchos</i>
A	Ruiseñor pechiazul	<i>Luscinia svecica</i>
A	Tarabilla europea	<i>Saxicola rubicola</i>
A	Tarabilla norteña	<i>Saxicola rubetra</i>
A	Zorzal alirrojo	<i>Turdus iliacus</i>
A	Zorzal charlo	<i>Turdus viscivorus</i>
A	Zorzal común	<i>Turdus philomelos</i>
A	Zorzal real	<i>Turdus pilaris</i>
<i>Sylviidae</i>		
A	Buscarla pintoja	<i>Locustella naevia</i>
A	Buscarla unicolor	<i>Locustella luscinioides</i>
A	Carricerín cejudo	<i>Acrocephalus paludicola</i>
A	Carricerín común	<i>Acrocephalus schoenobaenus</i>
A	Carricerín real	<i>Acrocephalus melanopogon</i>
A	Carricero común	<i>Acrocephalus scirpaceus</i>
A	Carricero tordal	<i>Acrocephalus arundinaceus</i>
A	Cetia ruiseñor	<i>Cettia cetti</i>
A	Cistícola buitrón	<i>Cisticola juncidis</i>
A	Curruca cabecinegra	<i>Sylvia melanocephala</i>
A	Curruca capirota	<i>Sylvia atricapilla</i>
A	Curruca carrasqueña	<i>Sylvia cantillans</i>
A	Curruca del Atlas	<i>Sylvia deserticola</i>
A	Curruca mirlona	<i>Sylvia hortensis</i>
A	Curruca mosquitera	<i>Sylvia borin</i>
A	Curruca rabilarga	<i>Sylvia undata</i>
A	Curruca tomillera	<i>Sylvia conspicillata</i>
A	Curruca zarcera	<i>Sylvia communis</i>
A	Curruca zarcerilla	<i>Sylvia curruca</i>
A	Mosquitero bilistado	<i>Phylloscopus inornatus</i>

<i>Familia</i>	<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>
<i>Sylviidae</i>		
A	Mosquitero común	<i>Phylloscopus collybita</i>
A	Mosquitero de Pallas	<i>Phylloscopus proregulus</i>
A	Mosquitero ibérico	<i>Phylloscopus ibericus</i>
A	Mosquitero musical	<i>Phylloscopus trochilus</i>
A	Mosquitero papialbo	<i>Phylloscopus bonelli</i>
A	Mosquitero silbador	<i>Phylloscopus sibilatrix</i>
A	Reyezuelo listado	<i>Regulus ignicapilla</i>
A	Reyezuelo sencillo	<i>Regulus regulus</i>
A	Zarcero políglota	<i>Hippolais polyglotta</i>
<i>Muscicapidae</i>		
A	Papamoscas cerrojillo	<i>Ficedula hypoleuca</i>
A	Papamoscas gris	<i>Muscicapa striata</i>
A	Papamoscas papirrojo	<i>Ficedula parva</i>
<i>Timalidae</i>		
A	Bigotudo	<i>Panurus biarmicus</i>
C1	Leiotrix piquirrojo	<i>Leiothrix lutea</i>
<i>Aegithalidae</i>		
A	Mito común	<i>Aegithalos caudatus</i>
<i>Paridae</i>		
A	Carbonero común	<i>Parus major</i>
A	Carbonero garrapinos	<i>Periparus ater</i>
A	Carbonero palustre	<i>Poecile palustris</i>
A	Herrerillo capuchino	<i>Lophophanes cristatus</i>
A	Herrerillo común	<i>Cyanistes caeruleus</i>
<i>Sittidae</i>		
A	Trepador azul	<i>Sitta europaea</i>
<i>Tichodromidae</i>		
A	Treparriscos	<i>Tichodroma muraria</i>
<i>Certhiidae</i>		
A	Agateador euroasiático	<i>Certhia familiaris</i>
A	Agateador europeo	<i>Certhia brachydactyla</i>

<i>Familia</i>	<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>
<i>Remizidae</i>		
A	Pájaro-moscón europeo	<i>Remiz pendulinus</i>
<i>Oriolidae</i>		
A	Oropéndola europea	<i>Oriolus oriolus</i>
<i>Laniidae</i>		
A	Alcaudón chico (extinto)**	<i>Lanius minor</i>
A	Alcaudón común	<i>Lanius senator</i>
A	Alcaudón dorsirrojo	<i>Lanius collurio</i>
A	Alcaudón real	<i>Lanius meridionalis</i>
<i>Corvidae</i>		
A	Arrendajo euroasiático	<i>Garrulus glandarius</i>
A	Chova piquigualda	<i>Pyrrhcorax graculus</i>
A	Chova piquirroja	<i>Pyrrhcorax pyrrhcorax</i>
A	Corneja negra	<i>Corvus corone</i>
A	Cuervo grande	<i>Corvus corax</i>
A	Graja	<i>Corvus frugilegus</i>
A	Grajilla occidental	<i>Corvus monedula</i>
A	Rabilargo ibérico	<i>Cyanopica cookii</i>
A	Urraca común	<i>Pica pica</i>
<i>Sturnidae</i>		
A	Estornino negro	<i>Sturnus unicolor</i>
A	Estornino pinto	<i>Sturnus vulgaris</i>
A	Estornino rosado	<i>Pastor roseus</i>
<i>Passeridae</i>		
A	Gorrión alpino	<i>Montifringilla nivalis</i>
A	Gorrión chillón	<i>Petronia petronia</i>
A	Gorrión común	<i>Passer domesticus</i>
A	Gorrión molinero	<i>Passer montanus</i>
A	Gorrión moruno	<i>Passer hispaniolensis</i>
<i>Estrildidae</i>		
C1	Estrilda común	<i>Estrilda astrild</i>

<i>Familia</i>	<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>
<i>Fringillidae</i>		
A	Camachuelo común	<i>Pyrrhula pyrrhula</i>
A	Jilguero europeo	<i>Carduelis carduelis</i>
A	Jilguero lúgano	<i>Carduelis spinus</i>
A	Pardillo común	<i>Carduelis cannabina</i>
A	Pardillo sizerín	<i>Carduelis flammea</i>
A	Picogordo común	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>
A	Pinzón real	<i>Fringilla montifringilla</i>
A	Pinzón vulgar	<i>Fringilla coelebs</i>
A	Piquituerto común	<i>Loxia curvirostra</i>
A	Serín verdecillo	<i>Serinus serinus</i>
A	Verderón común	<i>Chloris chloris</i>
A	Verderón serrano	<i>Carduelis citrinella</i>
<i>Emberizidae</i>		
A	Escribano cerillo	<i>Emberiza citrinella</i>
A	Escribano hortelano	<i>Emberiza hortulana</i>
A	Escribano montesino	<i>Emberiza cia</i>
A	Escribano nival	<i>Plectrophenax nivalis</i>
A	Escribano palustre	<i>Emberiza schoeniclus</i>
A	Escribano pigmeo	<i>Emberiza pusilla</i>
A	Escribano soteño	<i>Emberiza cirrus</i>
A	Escribano triguero	<i>Emberiza calandra</i>

ARTÍCULOS

Lucas Mallada, 20: 41 a 76
ISSN: 0214-8315, e-ISSN: 2445-060X
<http://revistas.iea.es/index.php/LUMALL>
Huesca, 2018

EL CANAL NAVARRA-ARAGÓN Y PROYECTOS ASOCIADOS: EL PLAN SUSÍN

José Antonio CUCHÍ¹

RESUMEN.— El artículo presenta el conjunto de proyectos denominado *Plan Susín*, desarrollado entre 1956 y 1964 para aumentar la dotación de agua del sistema de Riegos del Alto Aragón.

ABSTRACT.— The paper presents the set of projects called *Plan Susín*, developed between 1956 and 1964 to increase the water supply of the Riegos del Alto Aragón system.

KEY WORDS.— Alto Aragón irrigation channels, Plan Susín, Navarra-Aragón canal, Huesca canal, Monegrillo canal, Marracos dam, Monegros dam, Lumbier dam, Huesca (Spain).

INTRODUCCIÓN

La historia de los riegos de Aragón es un tema de evidente interés al que se han dedicado diversos estudios. Uno cuyo ámbito es amplio, como BOLEA (1978), mientras que otros analizan sistemas concretos como MATÉU (2017), para el canal de Aragón y Cataluña. Solo una parte de los proyectos se ejecutaron como el canal de Aragón y Cataluña y los Riegos del Alto

Recepción del original: 12-6-2018

¹ 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

Aragón, este último en parte sobre el proyecto original. Otros se iniciaron, como el pantano de Santa María de Belsué, con ideas de 1888, aunque las obras se dilataron desde 1906 hasta 1932, hasta que se admitió que sus problemas geotécnicos eran insolubles. En otros casos se realizaron trabajos preliminares, como en los pantanos de Salto de Roldán y Santa Eulalia, y en el intento de recrecer La Peña.

Muchos otros quedaron reducidos a simples ideas de café, o se plasmaron en memorias previas, anteproyectos o proyectos que no pasaron del artículo periodístico, de la mesa de diseño o del expediente administrativo.

La mayor parte de los proyectos eran ideas para áreas concretas, pero algunos se articularon en forma de planes de amplio espectro que, en algunos casos, tomaron el nombre de sus proponentes como, por ejemplo, el plan de regadío en zonas de montaña solo para la cuenca del Aragón, con 9400 hectáreas regadas, presentado por el ingeniero de montes Alfonso Villuendas Díaz en el IV Consejo Económico Provincial.

El conjunto de proyectos más detallado, que llegó a anteproyecto, se conoce como *Plan Susín*, que surge de las inquietudes de Fernando Susín Hernández, regante e ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Pero este Plan nunca tuvo apoyo oficial más allá del nivel provincial, aunque se ha publicitado en diversas ocasiones, habitualmente de forma parcial, especialmente en épocas de sequía o en relación con los sucesivos intentos de trasvase del Ebro.

Además, hay que señalar el conjunto de propuestas, que se pueden considerar un plan, de Carlos Albasini Martínez, perito agrícola que desarrolló su profesión en el Instituto Nacional de Colonización, luego Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario (IRYDA), y, finalmente, en la Dirección General de Ordenación Rural de la Diputación General de Aragón.

Este artículo se centra en el mencionado Plan Susín.

RIEGOS DEL ALTO ARAGÓN Y SUS NECESIDADES HÍDRICAS

El sistema de Riegos del Alto Aragón (RAA) tiene su origen en un proyecto privado del financiero catalán Francisco de Paula Romañá y Saurí.

Redactado en 1911 por los ingenieros Félix de los Ríos Martín y José Nicoláu Sabater, al fallecer Rafael Izquierdo (NICOLÁU y DE LOS RÍOS, 1911), quien, a su vez, había aprovechado un anteproyecto de Joaquín Cajal Lasala y Alejandro Mendizábal. El segundo era ingeniero jefe de la División Hidrológica del Ebro (VV. AA., 1952). El primero, un ingeniero oscense que realizó una serie de trabajos previos que resumió en el *Diario de Huesca*, del 10 de mayo de 1935. Además, trabajó en el túnel del Canfranc, en proyectos de los embalses de Vadiello y de la laguna de Sariñena, así como en otros interesantes trabajos como un estudio del canal del Sobrarbe. Lamentablemente, el archivo personal de Cajal parece haberse perdido.

Tal vez hubiera ideas convergentes en el proyecto. Así, en la *Correspondencia de España*, del 10 de febrero de 1910, y otras publicaciones, el barbastrense Mariano Lacambra expresó ideas similares para la zona del Cinca, captando agua en Clamosa o en Torreciudad. En sus escritos hace referencia a la intervención de Rafael Gasset Chinchilla, inspirador del Plan General de 1902 de canales de riego y pantanos que lleva su nombre. Además, Lacambra menciona que Romañá había fundado una empresa en París para ejecutar los Riegos del Alto Aragón y, en esta línea, *Heraldo de Aragón*, del 17 de diciembre de 1909, señalaba el interés de capitalistas extranjeros en el proyecto. El proyecto de Riegos del Alto Aragón fue aprobado técnicamente por Real Orden de 1 de marzo de 1913. En este momento se suscitó un debate sobre si debía ser realizado por medios privados o estatales, que alcanzó las Cortes y que se describe magistralmente en MARTÍN-RETORTILLO (1996). La segunda opción cristalizó en la Ley 7/1915, de Riegos del Alto Aragón. El proyecto original abarcaba una superficie regable de 300 000 hectáreas, de las que solo 70 000 eran de cultivos intensivos y el resto de cultivos invernales, viñedos y olivares (NICOLÁU y DE LOS RÍOS, 1911: 39; NICOLÁU, 1912: 139).

Superficie regable y dotación por hectárea han sido objeto de debates y de modificaciones. A este nivel, hay que reseñar las reservas de Manuel Lorenzo Pardo, cuyos conflictos técnicos con Félix de los Ríos son suficientemente conocidos. Fundador de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), en el Plan Nacional de Obras Hidráulicas de 1933, Lorenzo señalaba, entre otras observaciones, que en el Plan de 1919 se destinaban

152 000 hectáreas para Riegos del Alto Aragón (LORENZO, 1933: 26, 154 y otras). En 1951, el *Informe Gómez-Alonso* de la CHE rebajaba la superficie regable de Monegros II, al sur de Alcubierre, de 142 000 a 65 812 hectáreas y el total a 172 773 hectáreas. La memoria del proyecto del embalse de El Grado fijaba la superficie de Monegros II en 153 270 hectáreas (CHE, 1955: 5). Años después, el ingeniero agrónomo Francisco de los Ríos, hijo del autor del proyecto de Yesa y persona clave en la colonización de los nuevos regadíos del valle del Ebro, indicaba una superficie de 276 000 hectáreas para Riegos del Alto Aragón (DE LOS RÍOS, 1966: 17). Más tarde, CHE (1976: 380) mencionará 175 000 hectáreas. Una superficie similar, 168 607 hectáreas, se encuentra en el IRYDA (1978). Años más tarde, BOLEA (1999) hablará de 172 000 hectáreas.

El problema mayor es el volumen de agua disponible, que se acuña en la frase “hay más tierra que agua”. En el proyecto de RAA de 1911 se presentaba una dotación de 3217 m³/ha y se indicaba que el objetivo principal era asegurar las cosechas de cereales (ALBASINI, 1982a: 2). Esta dotación era insuficiente para los cultivos de verano como la alfalfa y el maíz, estimándose, hacia 1960, un consumo de 8000 m³/ha. Por ello, desde hace muchos años se han buscado soluciones en nuevas regulaciones, aportes de otras cuencas y recuperación de concesiones hidroeléctricas.

La conexión Aragón-Gállego

La conexión Aragón-Gállego aparece en los objetivos del embalse de Yesa en su proyecto de 1924 (CHE, 1976: 247; DGA, 1986: 166; MARCUELLO, 1992: 21-22). El río Aragón aportaría 400 hm³ según BOLEA (1978: 232) y ALBASINI (1982b: 10).

De hecho, en varias versiones del mapa provincial de Huesca, editado por el Instituto Geográfico Nacional, por ejemplo, en la 2.^a de 1989 y en la 4.^a de 1997, aparece la conexión, inexistente, de este canal con el embalse de Ardisa (fig. 1). LORENZO (1933: 153), sin embargo, dudaba de que se pudieran realizar tales aportaciones. La conexión fue reclamada por parte del Alto Aragón en las ponencias y conclusiones del IV Consejo Económico Sindical Provincial de Huesca (CESP, 1967: 113), pero a fecha de hoy no se ha construido.



Fig. 1. Enlace del canal de Bardenas con la presa de Ardisa.
IGN. *Mapa provincial de Huesca*, 2.^a ed. (NIPO: 162-14-008-X).

LOS PLANES SUSÍN

El ingeniero Fernando Susín Hernández se mostró en varias ocasiones preocupado por la dotación de agua para el sistema de Riegos del Alto Aragón (*Heraldo de Aragón*, 17 de agosto de 1975: 7). En coherencia con esta inquietud y con base en sus conocimientos, Susín redactó una serie de documentos técnicos donde planteaba una batería de obras para aumentar la dotación de aquel sistema denominado habitualmente como *Plan Susín*.

Es posible que su inquietud se basara en las consecuencias de la pertinaz sequía de los años cuarenta y cincuenta, especialmente en 1949, el año sin cosecha, cuando no entró agua en La Sotonera. Por sus escritos también parece que tuviera efecto la nota-anuncio de la CHE, en 1954, sobre el recrecimiento del embalse de La Peña, instado por los sindicatos propietarios. En esos escritos se incluían saltos hidroeléctricos de pie de presa en

La Peña y Ardisa, así como la construcción del Salto de la Ralla de Muriillo (SUSÍN, 1954).

El primer documento conocido está fechado en julio de 1958 y experimenta sucesivas mejoras. En 1962, se redacta un anteproyecto complementario, que se denomina *Plan V* (SUSÍN, 1962), que se amplía cinco años más tarde (SUSÍN, 1967a). En este último documento complementa detalles de los anteriores, refuerza el argumentario económico, señala la posibilidad de ventas de agua entre hidroeléctricas y regantes, “a un precio en relación con el coste de su obtención”, propone no aumentar la capacidad del embalse de Lumbier, por la oposición de los habitantes de esta localidad, y sustituir la ampliación de Yesa por bombeos de Artazu y Lumbier. Posiblemente hubo modificaciones posteriores, ya que algún plano está fechado en 1970.

El objetivo final del conjunto de estos planes era dotar de hasta 10 000 m³/ha en RAA, incluido un 20% en pérdidas, a la superficie ya existente hasta completar las cabidas totales proyectadas inicialmente, aumentando la superficie regable en 87 800 hectáreas en Navarra, Zaragoza y RAA (canales de Huesca y Monegrillo). Tema fundamental era la posibilidad de generar energía eléctrica que sirviera para financiar las obras necesarias, para lo cual instaba a realizar con mucha rapidez todo el plan, en cinco años, a efectos de interesar a la iniciativa privada. Un efecto secundario benéfico de los importantes trasvases que se solicitaban era rebajar por dilución la contaminación de las aguas del Gállego, en aquella época muy afectas por vertidos de la papelera de Sabiñánigo. Un argumento similar se utilizaba con los efectos sobre la calidad del agua del Arga producida por los lixiviados de Potasas de Navarra. En general, proponía la construcción de nuevos embalses y canales, la eliminación de algunas concesiones hidroeléctricas y la creación de otros saltos, junto con la oposición al recrecimiento del embalse de La Peña. La figura 2 resume el alcance de su propuesta.

Además de su participación en reuniones y comisiones oficiales, Susín defendió sus ideas tanto en medios de comunicación, como la *Nueva España*, del 18 de julio de 1962, como en publicaciones diversas (SUSÍN, 1967b y 1972; SUNER, 1974). En esta última defendió su postura con seudónimo, en relación con el conflicto del trasvase del Ebro, posiblemente por su delicada posición como funcionario.

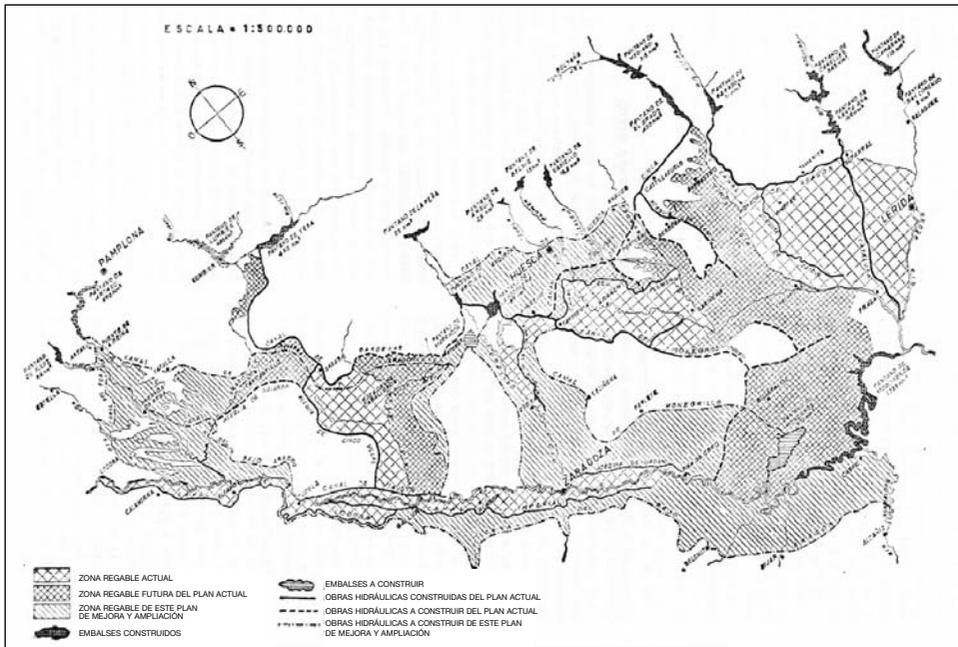


Fig. 2. Esquema completo del Plan Susín (SUSÍN, 1972).

El Ayuntamiento de Huesca, en el Pleno del 16 de febrero de 1967, acordó por unanimidad remitir el anteproyecto al Ministerio de Obras Públicas para que se aprobara e incluyera en el Segundo Plan Nacional de Desarrollo Económico (*Nueva España*, del día siguiente). El Plan Susín fue incorporado a la ponencia sobre regadíos del Consejo Económico Sindical Interprovincial del Ebro de 1970 (*Nueva España*, del 1 de febrero de 1976). Aparentemente no llegó más alto.

Recuperación de concesiones hidroeléctricas del Bajo Gállego

Históricamente el río Gállego se utilizó para mover molinos en Biescas, Anzánigo, Yeste, Molinaz, el castillo de la Ballesta, Puendeluna, Marracos y otros (PALLARUELO, 1994). Esta milenaria molinería hidráulica desaparece a comienzos del siglo XX sustituida por la movida con hidroelectricidad, que permite liberarse de la proximidad a los cauces, incluidos sus efectos destructores, y la variable hidrología fluvial.

En el Gállego, desde principios del siglo XX se construyen los primeros sistemas de azud, canal y salto. El primero fue el Salto del Lobo, al que siguieron la Hidroeléctrica de Huesca, fundada en 1903, y la central de Carcavilla (Teledinámica del Gállego), en 1904, que acabarán unidas, años más tarde, en Eléctricas Reunidas de Zaragoza (ERZ).

La historia del Salto del Lobo se presenta en la *Revista Ilustrada de Banca, Ferrocarriles, Industria y Seguros* (25 de junio de 1902: 297-299), donde se cita a los ingenieros Bellido, Checa y Fernández de Navarrete. El primero figura como presidente de Fuerzas Motrices del Gállego, adquirentes del Molinaz en 1901 (ALASTUEY y CUCHÍ, 2016). Según la Comisaría de Aguas del Ebro (CAE, 1979), la petición del Salto del Lobo la realizó Antonio Fernández de Navarrete y Hurtado de Mendoza, el 27 de julio de 1900, para un caudal de 15 m³/s, quien contaba con el consentimiento de José Querol y José Estallo, propietarios de los molinos de Puendeluna y Marracos, así como de Mariano Rocatallada, propietario de terrenos. En la información pública se personaron José Riuén y Manuel Alastuey, usuarios de la acequia del molino de Puendeluna, y José Palomar Mur propietario del castillo de Rosel. Las alegaciones fueron desestimadas y el 14 de diciembre de ese año se otorgaba la concesión. El acta de reconocimiento final se levantó el 17 de febrero de 1905. El 12 de febrero de 1944, se realizaba expediente de transferencia a favor de ERZ, manteniéndose el caudal máximo de 15 m³/s. En 1942, ERZ había presentado un proyecto de mejora, relacionada con una petición de aprovechamiento integral del Gállego realizada por Nicolás Monterde Aspes. Alguna información complementaria sobre este plan aparece en CEDEX (1960), donde se indica que el expediente había sido promovido por Antonio Marcén Nasarre y que solo se le concede un salto en Gurrea de Gállego. Volviendo al Salto del Lobo, en 1975 se legalizó el cambio de maquinaria realizado en 1947, al tiempo que se solicitaba otra modificación más moderna redactada por Conrado Sancho Rebullida. En instancia personal remitida al ministro de Obras Públicas en septiembre de 1975, Susín se opone otra vez a la concesión de esta central, entonces en trámite, por entender que todos los sobrantes del Aragón se deberían dedicar a completar la deficitaria dotación del canal de Monegros.

Evidentemente, este uso hidroeléctrico así como los de riego del Bajo Gállego tenían prioridad sobre los usuarios posteriores. Por tanto, como una

forma de obtener más caudales para RAA, el Plan Susín hace hincapié en el rescate estatal de concesiones hidroeléctricas, especialmente, por debajo de Ardisa como el Salto del Lobo y la central de San Mateo (Electra Camarera). El rescate se contempla también en DE LOS RÍOS (1966). Por consiguiente, ERZ se opuso con fuerza. Señalemos que en algún momento esta empresa vendió temporalmente agua del Lobo a RAA, según señala TOMELO (1975), reflejando que en 1971 RAA compró a ERZ 35 hm³ (SUSÍN, 1972). No es el único caso dado que, en 1956, un escrito de ERZ a la Comisaría de Aguas del Ebro ponía de manifiesto la existencia de un pacto entre la empresa hidroeléctrica y el Sindicato de Riegos del Pantano de La Peña, donde la primera había aportado 3 010 000 pesetas, pero el segundo no había regulado el agua para el salto de Marracos mediante su pantano (CAE, 1979).

Dentro del Plan se puede incluir también la oposición a nuevas concesiones hidroeléctricas en Yesa, La Peña, La Ralla-Molinaz, que se anunció en el *Boletín Oficial de la Provincia de Huesca*, el 22 de septiembre de 1954, que aparece en SUSÍN (1954) y que este repite en *Heraldo de Aragón*, del 17 de agosto de 1975. Además, SUSÍN (1962: 25) propone eliminar y compensar los saltos de pie de presa de El Grado, El Ciego, Arias y Ariéstolas.

Oposición al recrecimiento del embalse de La Peña

El Plan Susín se oponía con rotundidad a cualquier recrecimiento del embalse de La Peña, ofreciendo alternativas al tiempo que señala posibles problemas geotécnicos para su ampliación por la presencia de calizas de “seguridad muy dudosa” (SUSÍN, 1962: 12).

Desde tiempos remotos, la *gorgocha* de La Peña, el punto más estrecho en el paso del Gállego por el Prepirineo, atrajo la atención por diversas razones. Un buen punto para construir un puente y cobrar pontazgos, durante mucho tiempo controlado por la familia Urriés. También un paso temido por los nabateros que navegaban maderos por el río, y que se encomendaban, a su entrada, a la Virgen de la Peña, hoy bajo las aguas. El estrecho, evidentemente, era un emplazamiento económico para construir un embalse si se conseguía superar la fuerza del río, especialmente en las grandes avenidas.

La historia de este pantano, propiedad de los sindicatos de Rabal y Urdán, se inicia oficialmente en 1870 y está muy bien presentada por LAFUENTE y GRAGERA (2013). Las obras se inauguraron oficialmente en noviembre de 1903, sobre proyecto de José María Royo Villanova y Antonio Lasierra Purroy, y finalizaron en 1913, bajo la dirección de Severino Bello Poëyusan, con una cabida original de 25 hm³. Ya antes de construirse se barajaban grandes expectativas sobre el agua embalsada. A finales del siglo XIX, Joaquín Costa hablaba del *colosal* embalse de La Peña. Enseguida el pantano se quedó pequeño para muchos intereses, y tras su construcción ha habido cuatro intentos serios de recrecimiento, en una especie de sí pero no, en 1932, 1948 (hasta 192 hm³), 1960 (382 hm³) y 1982 que se describen en CEDEX (1960) y LAFUENTE y GRAGERA (2013). El análisis de las causas del desistimiento de estos intentos, en alguno de los cuales se llegaron a realizar catas y sondeos geológicos, desborda ampliamente este artículo, pero hay que indicar la incidencia de cualquier recrecimiento sobre el ferrocarril de Canfranc, al que había que darle una complicada y costosa alternativa mediante un largo túnel. De hecho, en ambientes ferroviarios se creía en la incompatibilidad de la línea ferroviaria, uno de los símbolos aragoneses, con el recrecimiento. Este también afectaba seriamente a la actual carretera A-132, entonces N-330, que, hasta el arreglo hacia 1970 de la carretera del puerto del Monrepós, era una vía fundamental entre Zaragoza y Jaca. Además, se inundaban tres centrales hidroeléctricas, en aquel momento propiedad de ERZ. Por otro lado, estaba la particular oposición oscense al recrecimiento, por ejemplo de la Cámara de Comercio e Industria de Huesca, que reivindicaba el canal de la Hoya de Huesca, del que se hablará más adelante.

Tras el desistimiento del recrecimiento de La Peña y la construcción de los embalses de Búbal y Lanuza por parte de Energías e Industrias Aragonesas (EIASA), se estudia la construcción de embalses en Senegüé, Javierrelatre, Anzánigo I y II, Santa Eulalia de Gállego y Biscarrués, que se contemplan en el *Estudio de regulación del Gállego* realizado por la CHE (UCEDA, 1981), así como en un *Informe sobre la regulación del río Gállego y la potencia hidroeléctrica obtenible*, realizado por ENHER en 1983. El pantano de Senegüé ya aparece en el plan de 1933, pero se desistió de él inicialmente por razones geológicas. Los pantanos del Alto Gállego no aparecen explícitamente en el Plan Susín, que buscaba agua en otras cuencas.

Embalse (grande) de Lumbier

La Foz de Lumbier está en el tramo final del río Irati, aguas abajo de esta localidad. En el listado del Plan Provisional de Obras Hidráulicas del Real Decreto de 25 de abril de 1902, aparece un embalse en el río Salazar, denominado de *Usún*, 7 kilómetros aguas arriba de Lumbier, cuyo objetivo era restituir aguas al Aragón dentro de un conjunto de embalses donde, además del de Yesa, figuraban los de Biniés en el Veral y Salvatierra en el Esca, para dar servicio al canal de las Bardenas (n.º 152). El plan de 1933 cita un pantano de Lumbier en estudio.

El Plan Susín contaba con la construcción de un gran embalse en Lumbier que se uniría con el canal de Bardenas a través de un acueducto sobre el río Aragón (fig. 3). Años más tarde, en 1974, salió a información pública el proyecto de construcción del embalse *grande* de Lumbier, en bóveda de doble curvatura. Con un nivel máximo normal (NMN) a cota 475 metros

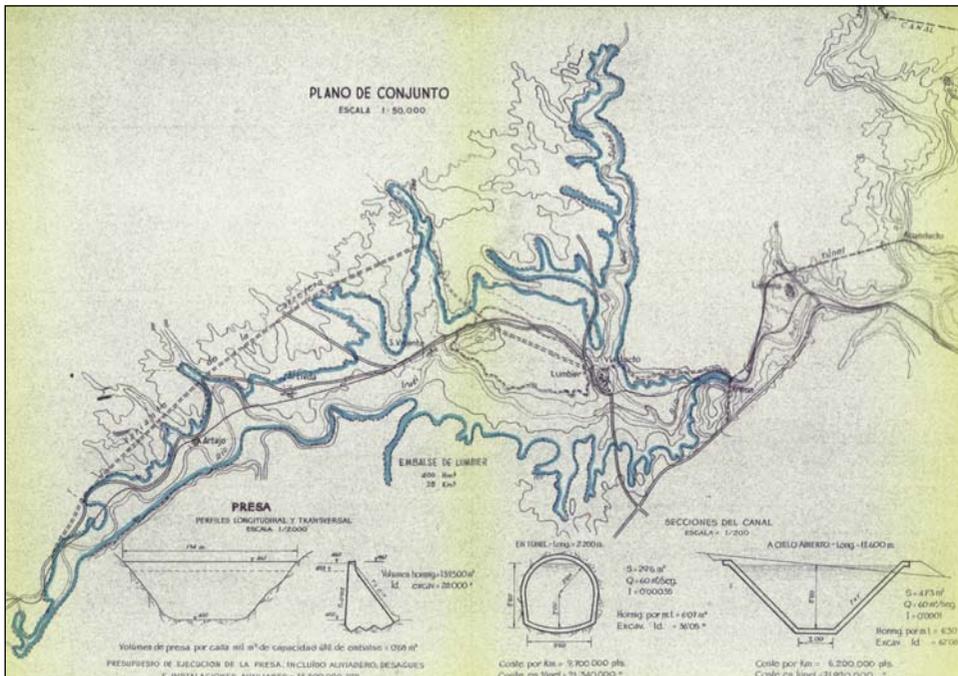


Fig. 3. Embalse grande de Lumbier y canal de enlace con el canal de Bardenas, según el Plan Susín.

tendría una capacidad de 1084,6 hm³. A cota 480, esa capacidad aumentaría a los 1352,1 hm³. El *Informe de regulación de los ríos Aragón e Irati* de 1977, señalaba un NMN intermedio a 478,75 metros, con una cabida de 1282,4 hm³ y un túnel de interconexión de 7,2 hm³ hasta el embalse de Yesa. Este embalse suponía la expropiación de 12 532 hectáreas, la afección total de veintiuna localidades, incluida Lumbier, con el traslado forzoso de 2458 personas.

En 1969 se redacta, pero se aprueba en abril de 1977 una variante del anterior, denominado *Lumbier pequeño*. La presa, de hormigón por gravedad, estaba situada en el Irati a unos 450 metros del puente de Lumbier con un NMN a 458,2 metros y una capacidad de 268 hm³ (CHE, 1976: 235). Inundaba los pueblos de Artuajo, Artieda y Ripodas. También hubo un anteproyecto de embalse en el río Salazar, en Aspurz (40,8 hm³), con túnel de aportación a Yesa (IRYDA, 1977). Este último informe, que citaba el *Informe de regulación* ya mencionado, señalaba también la posibilidad de un embalse en el río Aragón, en Berdún, de materiales sueltos en escollera, con un NMN a 582 metros y una capacidad de 620 hm³ (IRYDA). Suponía la expropiación total de Berdún, Villarreal de la Canal, Martes y Arrés, Mianos y Asso-Veral, quedando este último bajo las aguas (IRYDA, 1977: 3, 4 y mapa). Años más tarde se plantearon embalses en Embún y Las Tiasas Altas (DGA, 1986; *El Pirineo Aragonés*, del 16 de mayo de 1986). Al final se optó por recrecer Yesa, mientras que Navarra se inclinaba por el embalse de Itoiz, cerca de Aoiz.

Pantano de Artazu

El Plan V de Susín planteaba regular el río Arga, aguas arriba de Arazuri, mediante una presa en hormigón en masa de 64 metros de altura sobre el cauce, que tenía una capacidad máxima de 675 hm³ y un volumen embalsable de 288 hm³ entre las cotas 410 y 400 metros. El agua llegaría hasta las inmediaciones de la estación de ferrocarril de Pamplona (cota 414 metros) e inundaría diez localidades (Arazuri, Asiáin, Echarri, Achevacoiz, Echauri, Eriete, Ibero, Lizasoain, Ororbia y Otazu) con una población total, en ese momento, de 2335 personas (fig. 4). En la cota 400 arrancaba el canal de Navarra y Aragón hacia el este.

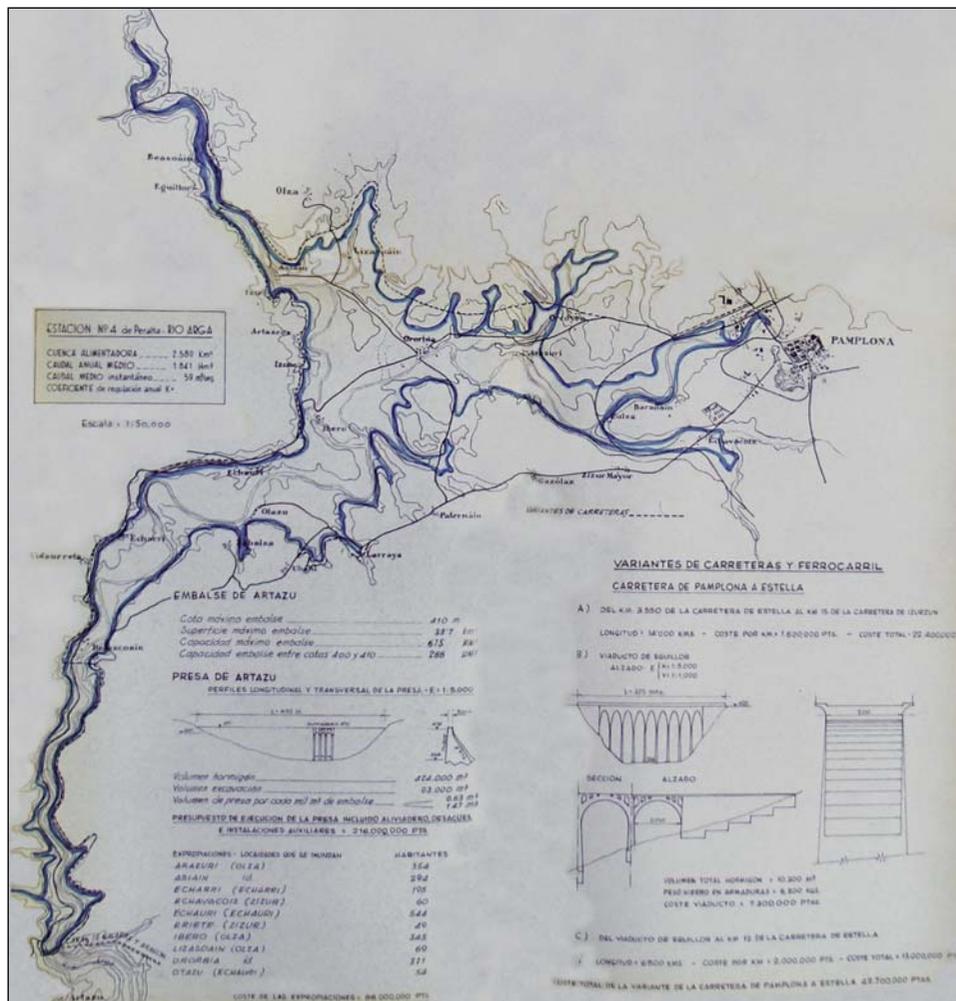


Fig. 4. Embalse de Artazu, inicio del canal de Navarra y Aragón, según el Plan Susín.

Ante la posibilidad de no alcanzar los caudales esperados para el canal de Navarra y Aragón, se señalaba la posibilidad de complementarlos mediante un canal de 15 kilómetros de longitud y 10 m³/s desde el río Salado y, si este no fuera suficiente, con otro de 8 kilómetros y 5 en túnel desde el Ega, aguas abajo de Estella (SUSÍN, 1962: 34 y 1967a: 34). Otra alternativa que sugería para aumentar la dotación hacia los RAA era realizar bombeos por debajo de las cotas de salida de los canales de Lumbier y del canal de

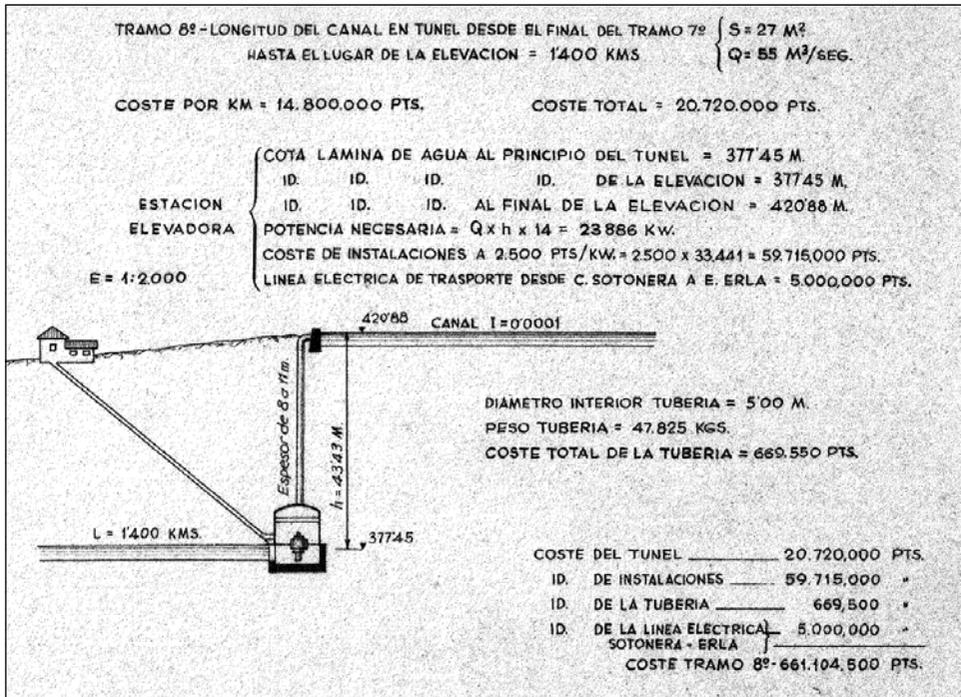


Fig. 5. Estación de bombeo en Erla del canal de Navarra y Aragón, según el Plan Susín.

Navarra y Aragón. En compensación, aseguraba que no era necesario el recrecimiento del embalse de Yesa.

Evidentemente, estos proyectos tuvieron su correspondiente debate en Navarra, donde se descartaron, decidiéndose por la construcción del pantano de Itoiz y el canal de Navarra.

El canal de Navarra y Aragón

Con una longitud de 148 kilómetros, arrancaría en la cota 410 metros. Dos de los tramos, el primero (18,3 kilómetros) y el tercero (8,8 kilómetros), serían en túnel circular de 6 metros de diámetro y una pendiente de 0,0004, con un caudal de 55 m³/s. El resto sería a cielo abierto, con una pendiente de 0,0001, menos el penúltimo. Salvaría el río Aragón mediante un acueducto de 1750 metros de longitud y 40 metros de altura. Cruzaría el

canal de la Pardina, donde descargaría 23 m³/s, eliminando su dependencia del canal de Bardenas, y seguiría paralelo a este, a cota inferior, hasta cruzar los ríos Arba de Luesia y de Biel. Pasado este último, entraría en un túnel de 1,4 kilómetros de longitud a una estación de bombeo subterráneo, en las cercanías de Erla (fig. 5), donde se bombearían los 35 m³/s a la cota 420,88 metros, salvando un desnivel de 43,43 metros. De allí arrancaría un tramo de canal de 8,8 kilómetros hasta el embalse de Marracos. Regaría 25 000 hectáreas nuevas.

Embalse de Marracos y sifón Marracos – La Sotonera

En el Plan V, los canales de Bardenas y Navarra y Aragón desembocarían en un nuevo embalse construido en la depresión que existe entre Piedrajada y Marracos (fig. 6). Se eliminaría, además, el último trozo del primer canal, hasta Ardisa, como muestra la figura 1. En este embalse se juntarían las aguas de los ríos Irati, Aragón y Arga.

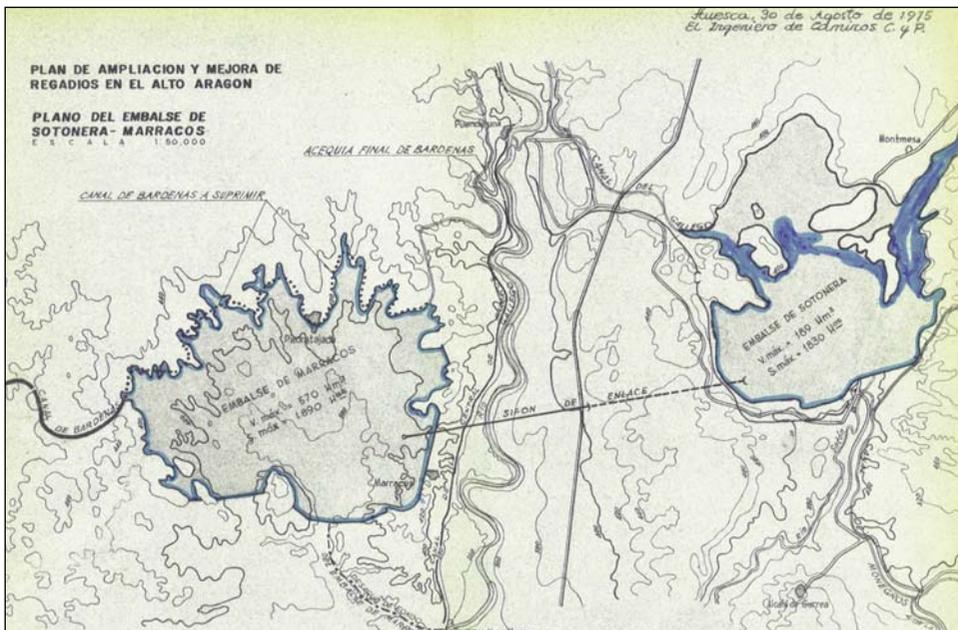


Fig. 6. Embalse de Marracos y sifón de enlace con el embalse de La Sotonera, según el Plan Susín.

El embalse se realizaría en tierra, con una mota de 5400 metros en tres partes, que embalsaría 1030 hm^3 , hasta la cota 420. Este volumen quedaría dividido en dos partes por la cota 393,1 que es la de la solera de arranque del canal de Monegros. Por encima de esta había un volumen de 460 hm^3 , que se plantea conectar con el embalse de La Sotonera mediante un sifón metálico de 7150 metros y 8 metros de diámetro. Una de las consecuencias de esta conexión sería la de hacer rentable la central de La Sotonera, en el arranque del canal de Monegros, al disponer de más horas de turbinado y una lámina de carga más constante (SUSÍN, 1962: 149).

En opinión de Susín, el embalse de Marracos sustituiría ventajosamente al proyectado hiperanual de La Peña, ya que por su desagüe de fondo se podrían abastecer los regadíos del Bajo Gállego.

El embalse de Marracos se recoge por otros autores posteriores. Así, se ha considerado la posibilidad de llenar un embalse en Marracos con $292,1 \text{ hm}^3$ y un NMN en cota 413,14 solo con agua del Gállego desde Ardisa (421,64 metros) a través de un canal de 12 kilómetros, 2 metros de calado y una pendiente de 0,0005 (ALBASINI, 1979: 2). El mismo autor, un año más tarde, mencionaba en esta localidad un embalse de 422 hm^3 , alimentado con aguas de los ríos Aragón y Gállego (ALBASINI, 1980: 51). BOLEA (1978: 252) menciona el embalse de Marracos con un volumen de 700 hm^3 , de los que 600 estarían conectados mediante un sifón a La Sotonera, con idea de asegurar el abastecimiento a Zaragoza, garantizar con su extensión original los riegos del Plan del Alto Aragón, incluido el canal de Monegrillo, complementar el regadío de la Hoya y el abastecimiento de la ciudad de Huesca, y realizar un gran salto hidroeléctrico en Alborge.

Trasvase Ésera-Cinca y canal de retorno

Además de la captación en la cuenca del Aragón, Susín consideraba que el Noguera Ribagorzana podría, por sí solo, atender la casi totalidad de la zona del canal de Aragón y Cataluña (*Nueva España*, del 18 de julio de 1962), evidentemente por debajo de Coll de Foix. A partir de este supuesto, planteaba un trasvase desde el río Ésera, dando por construido el embalse de Campo, hacia el Cinca en Mediano, mediante un túnel de 14,5 kilómetros en hormigón y pendiente del 0,001 para $20 \text{ m}^3/\text{s}$ (fig. 7).

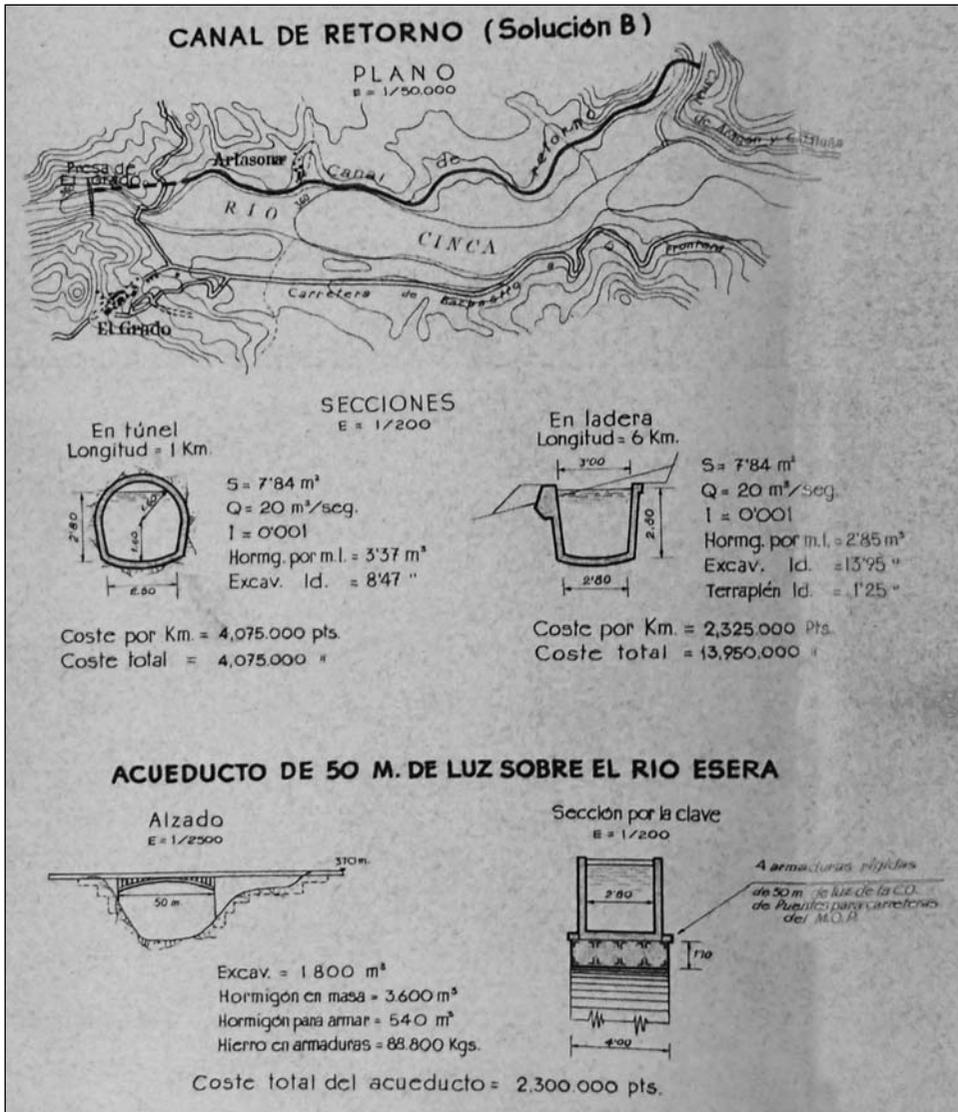


Fig. 7. Trasvase del embalse de Campo al de Mediano, según el Plan Susín.

Para compensar la detracción de aguas del Ésera al canal de Aragón y Cataluña, planteaba un canal de retorno, con el mismo caudal, a aquel canal desde El Grado, mediante un canal de 7 kilómetros, de los cuales 1 iría en túnel. Salvaría con un acueducto el Ésera, a la altura del puente de Olvena (fig. 8).

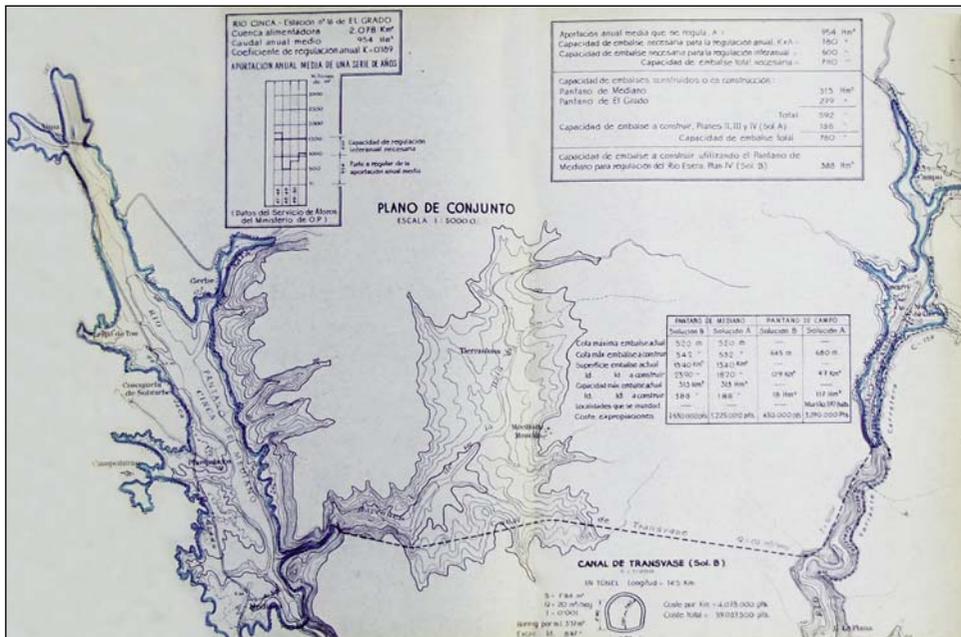


Fig. 8. Canal de retorno desde el embalse de El Grado al canal de Aragón y Cataluña, según el Plan Susín.

Ampliación del canal de Monegros

Consecuencia del aumento de las aportaciones de los ríos Arga, Irati y Aragón, más los caudales del Cinca y del trasvase del Ésera tras el abrazo de Tardienta, para dar solución al embalse de Monegros y el consecuente salto hidroeléctrico de Alborge, se hacía necesario ampliar la capacidad del canal de Monegros. Como solución, propone elevar los cajeros en 1,1 metros, incluso en el acueducto de Tardienta, un punto clave en los RAA (fig. 9). Otro elemento clave es el túnel bajo la sierra de Alcubierre, diseñado con una longitud de 6270 metros y una pendiente de 0,0007, con un calado de 3 metros, sobre una sección de 5,6 metros. Como en ese momento estaba prácticamente finalizado, Susín propuso aumentar el calado a 5 metros para alcanzar un caudal de 116 m³/s, lo que obligaba a rebajar la pendiente del tramo que quedaba por construir, unos 30 kilómetros, antes del túnel. Tras el túnel, el canal continuaría durante 17,75 kilómetros con un calado de 5 metros y una pendiente del 1‰ hasta los dos saltos finales.

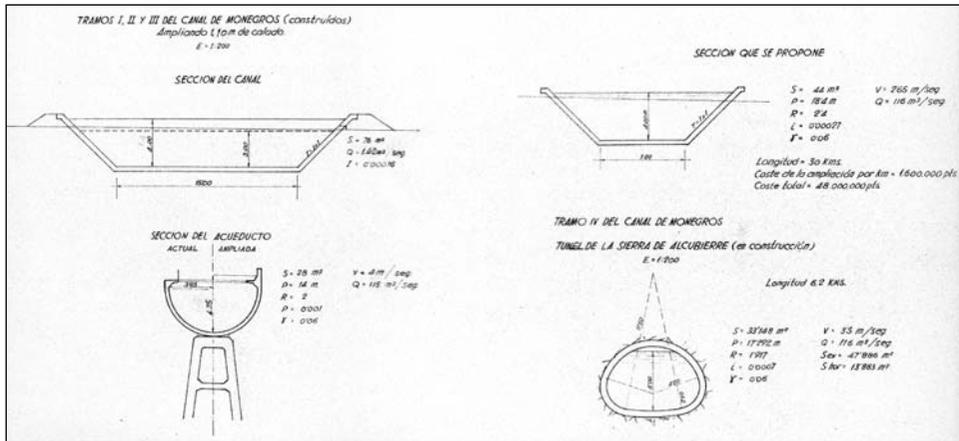


Fig. 9. Recrecimiento de secciones en el canal de Monegros, según el Plan Susín.

Embalse de Monegros y saltos hidroeléctricos

De la cola del canal saldría un canal de 8,7 kilómetros que, pasado Bujaraloz, desembocaría en un embalse de 537 hm³ (7450 hectáreas), “en pequeñas presas de tierra de muy poco gasto” ampliables a 976 hm³ (9700

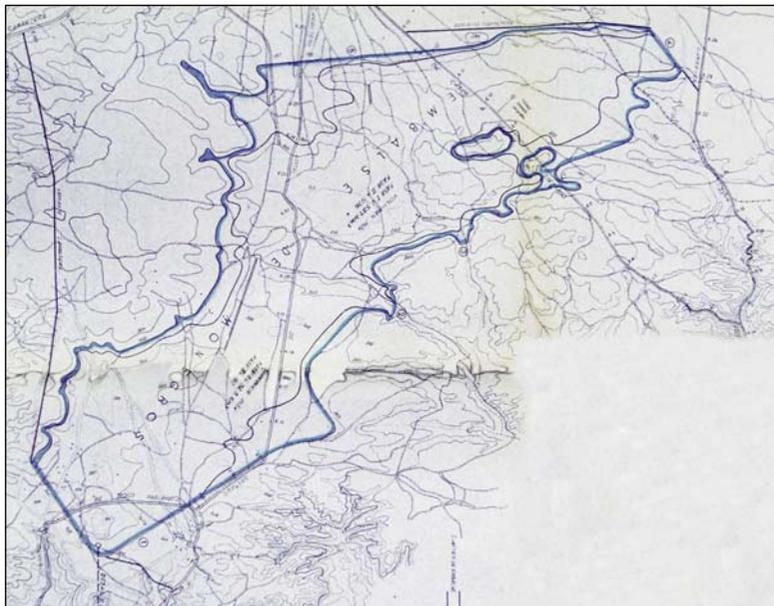


Fig. 10. Embalse de Monegros, según el Plan Susín.

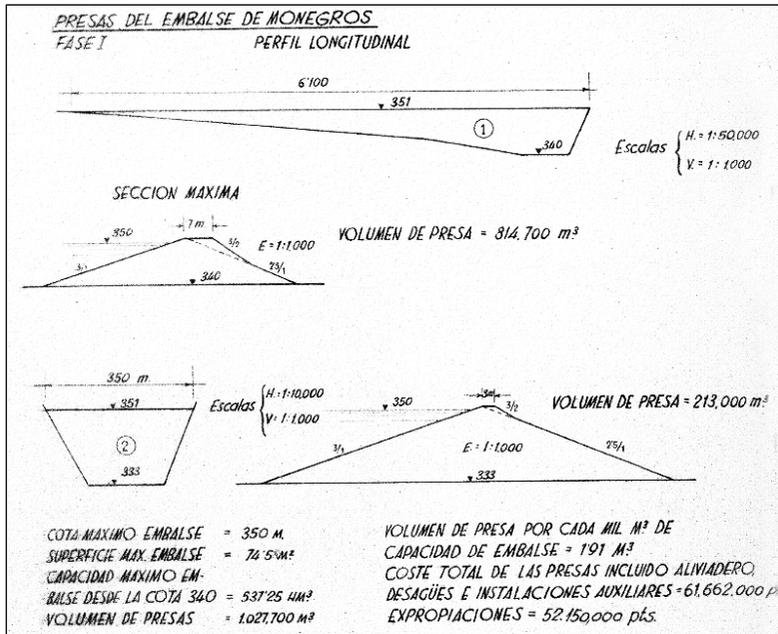


Fig. 11. Secciones de la presa de Monegros, según el Plan Susín.

hectáreas), mediante elevación de 5 metros (figs. 10 y 11). Entre canal y embalse habría un salto de 25 metros, en la primera fase, reducido a 20 con el recrecimiento.

El ingeniero señalaba la posibilidad de un recrecimiento mayor, de 10 metros, obteniéndose así un embalse de 2000 hm³, el mayor de Europa occidental (Susín, 1962: 37). Las pérdidas de superficie regable serían compensadas con las ganadas en el canal de Monegrillo, que arrancaba del canal del Cinca, en Tardienta, sin pasar por el acueducto.

Por debajo de la presa sur de este embalse se construiría un segundo salto de 215 metros verticales en la primera fase hasta una central que daría paso a una galería subterránea de 8 metros de diámetro y 3,6 kilómetros de longitud hasta el Ebro (fig. 12).

Canal de Huesca

Este proyecto, para regar tierras en el entorno de Huesca, tiene una larga trayectoria. Históricamente, el Gállego regaba en su cuenca baja mediante

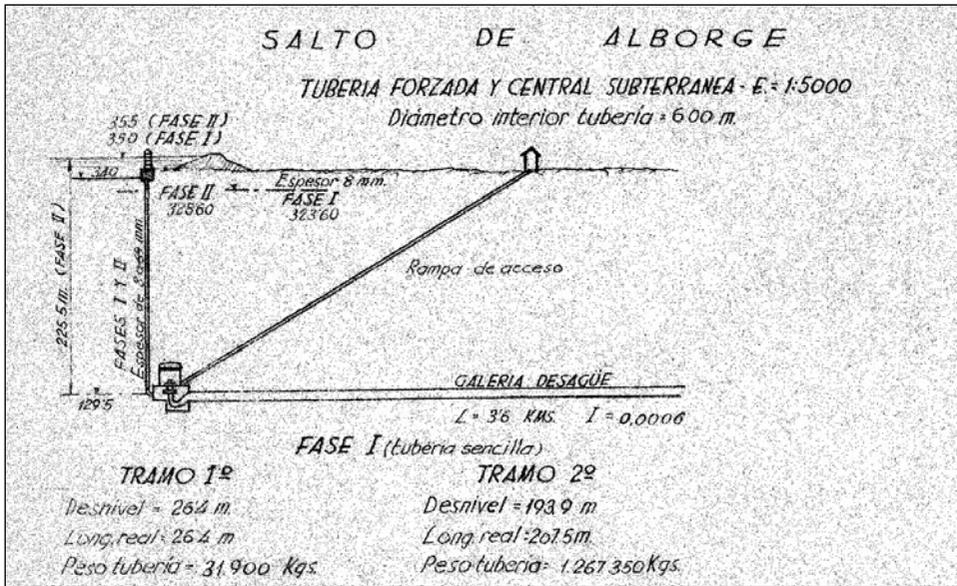


Fig. 12. Central de Alborge, según el Plan Susín.

azudes y sin regulación hasta el siglo xx. Por otro lado, conocidas las limitaciones del embalse de Arguis asistido por los trasvases de la Barza (siglo xvii) y Bonés (siglo xviii), se buscan sin éxito las aguas del Gállego en ocasiones con proyectos de imposible realización (BALAGUER, 1954; GARCÉS, 2006). A mediados del siglo xix, Huesca realiza un nuevo intento, y *La Discusión*, del 22 de octubre de 1856, informa de que Juan Cavero ha redactado un proyecto para la empresa del canal Sertoriano que, tomando las aguas del Gállego en Javierrelatre, regaría la hoya de Huesca, con un caudal de 11 m³/s y una longitud de 74 kilómetros, de los que los 33,5 iniciales, hasta Ayerbe prácticamente, no se regarían. De este término pasaba a la altura de Loscorrales, Bolea, Arascués y Nueno, hasta desembocar en el Isuela, regando 280 000 fanegas. El coste era de 13 millones de reales. La oposición de los usuarios tradicionales del Gállego no se hizo esperar. *La España*, del 26 de septiembre de 1857, daba noticia de un escrito suscrito por varios ayuntamientos de Zaragoza en el que se afirmaba que era una quimera alimentar el proyectado canal Sertoriano, porque los actuales caudales eran insuficientes incluso para los terrenos que ya regaban. *La Iberia*, del 16 de octubre del mismo año, informaba de que desde Huesca se intentaban refutar los

argumentos de los opositores. En 1861, el secretario de la Junta Provincial de Agricultura, Industria y Comercio de Huesca solicitaba la ejecución del embalse del Salto de Roldán y de los canales de Tamarite y Sertoriano. Sobre este señalaba los “entorpecimientos y oposición que al proyecto del canal Sertoriano se presentan por los actuales regantes” (BOLETÍN OFICIAL DEL MINISTERIO DE FOMENTO, 1861: 558). En las actas del Ayuntamiento de Zaragoza de 1861, al entrar en el tema de la bondad de las aguas del Gállego frente a la peor calidad de las del Canal Imperial, del Huerva pasado Muel, de los manantiales de Pinseque y de Marlofa y del propio Ebro, se mencionaba que en 1857 las Juntas de los términos de la Camarera, Urdán y el Rabal, la Diputación de esta provincia, el Ayuntamiento de Zaragoza y otras corporaciones hicieron una empeñada oposición al proyecto del canal Sertoriano por la falta de caudales (AYUNTAMIENTO CONSTITUCIONAL DE ZARAGOZA, 1867: 7). En julio de 1868, aún se menciona el proyecto en la prensa nacional, junto con los canales de Tamarite, Príncipe Alfonso, Cinco Villas y Rioja y Navarra. *La América* del día 28 afirmaba que había falta de subvención y protección del Estado. Tras la revolución de 1868, el proyecto desaparece de la prensa, pero no de la mente de muchos oscenses. Hacia 1960, el proyecto del canal reaparece con energía. *La Nueva España*, del 19 de diciembre de 1962, cita declaraciones de Ramón Encinas Diéguez, entonces gobernador civil y jefe provincial del Movimiento, sobre el encargo a Fernando Susín de la elaboración del proyecto para su inclusión en las conclusiones del Consejo Económico y Social, y en relación con el vigésimo sexto aniversario del levantamiento del cerco de Huesca. Según PORTA (1962), el proyecto de canal de Huesca que proponía el Plan Susín salía de la cota 540 en La Peña, pasaba entre Biscarrués y Ardisa y acababa en el Flumen en la cota 500. Evidentemente, el proyecto quedó incluido en el Plan Susín (fig. 13). Años más tarde, el IRYDA (1974), señalaba un canal de 91,6 kilómetros de longitud y una pendiente de 0,0005. La toma estaba a 547 metros en La Peña. Cruzaría la carretera de Ayerbe a Biscarrués en la cota 539,85 metros, y desaguaría en el barranco de Piracés a 420 metros.

Años más tarde, ALBASINI (1978) planteó una alternativa de riego en la hoya desde una perspectiva diferente. Basándose en la prevista construcción del embalse en Jánovas, en el río Ara, se planificó un túnel de 22 850 metros hasta el Alcanadre, que abastecería un embalse en Pedruel, de 120 hm³.

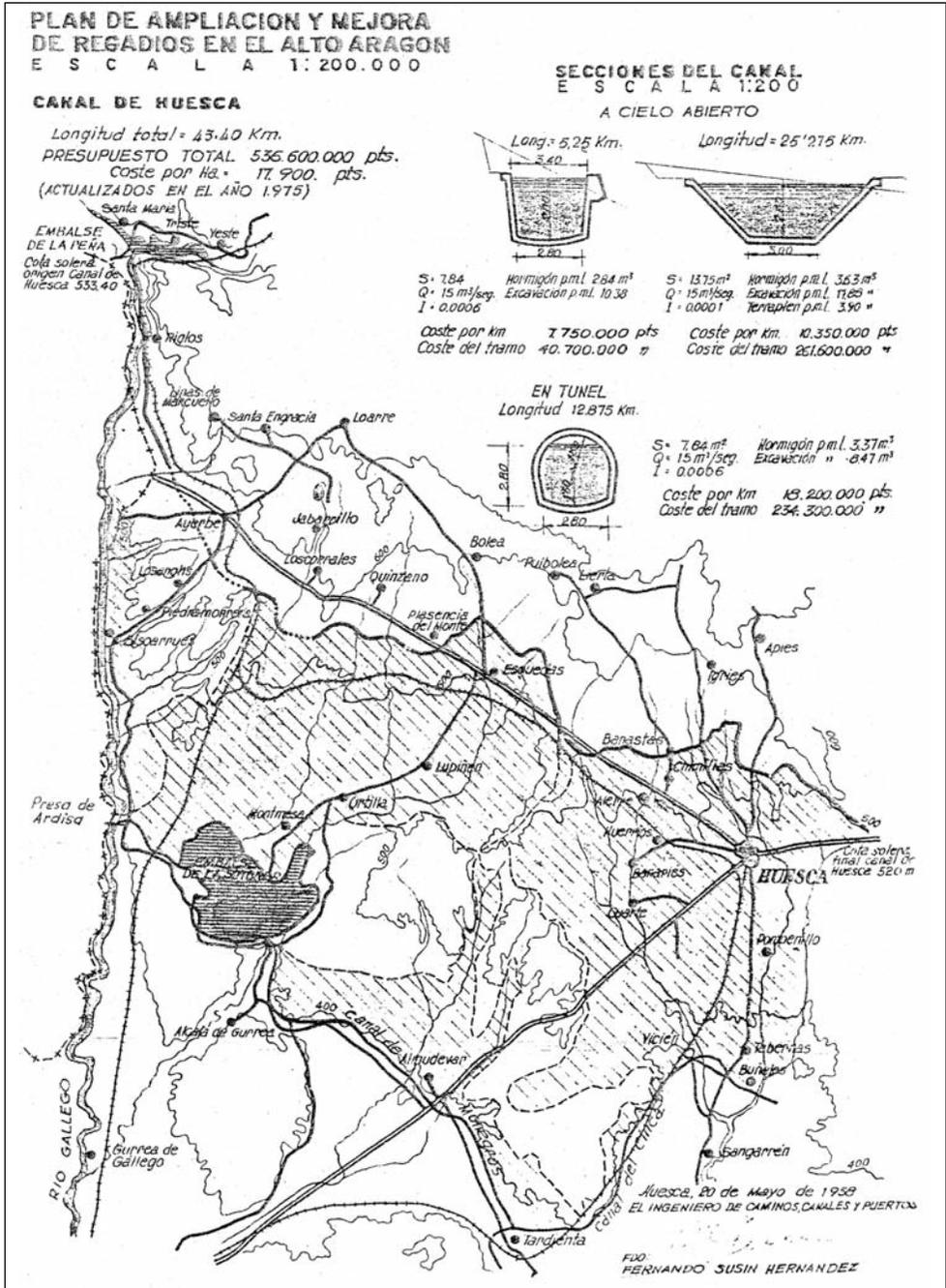


Fig. 13. Canal de Huesca, según el Plan Susín.

De este saldría un canal de 29,6 kilómetros, que daría servicio a la acequia de Labata y al canal de Huesca. Tras cruzar el Guatizalema y el Flumen, este último mediante sifón, el canal pasaría por la ladera del pie de Montearagón, seguiría al norte de Torre Elfáu, en Huesca, y desaguaría en Valdabra, al norte de la estación de ferrocarril, en Alerre (ALBASINI, 1978). Años más tarde, el mismo autor aumentaba su propuesta proponiendo el canal de Abiego, que saldría de la cota 623,92 metros desde la margen izquierda del embalse de Pedruel hasta el Vero, con 9638 hectáreas, que podrían incrementarse a 11 796 mediante una elevación al este del Balcés (ALBASINI, 1981). En una nueva versión, más tardía, este autor propuso una captación mixta Gállego-Ara (ALBASINI, 1982*b*). Era difícil que prosperase la idea del Ara por la incertidumbre del embalse de Jánovas y la dificultad técnica y económica del túnel de trasvase al Alcanadre.

El siguiente impulso para la ejecución del canal de Huesca se realizó hacia 1980. ALBASINI (1982*b* y 1983) presenta los antecedentes y el posible trazado, que saliendo de la cota 547, entre Anzánigo y la Garoneta, seguiría el proyecto del IRYDA (1974*a*), abastecería el embalse de Manjarrés y llegaría al Flumen.

Posteriormente, se redactaría un nuevo anteproyecto de este canal con una propuesta de un largo túnel por Sierra Caballera, así como la construcción del embalse de Montearagón, de 50 hm³. Este, además de sustituir al fracasado embalse de Santa María de Belsué, actuaba como embalse de cola para el canal. La evolución y las peripecias recientes de este proyecto merecen un análisis objetivo que desborda a este artículo.

Canales de Monegrillo y Leciñena

Según ALBASINI (1982*a*), la idea de un canal de Monegrillo se remota a 1952, con la propuesta del alcalde de Farlete al Instituto Nacional de Colonización (INC), según la cual se derivaría un canal a la salida del acueducto de Tardienta. El INC lo incluyó en 1956, con 30 000 hectáreas, en el *Avance de Plan integral de riegos de la cuenca del Ebro*, con similar salida. Esta idea se recoge en el Plan Susín y regaría una superficie de 45 000 hectáreas. Según este proyecto, el canal saldría del canal del Cinca, sin pasar por el acueducto de Tardienta (fig. 14).

PLANO DE CONJUNTO

Escala: 1: 50 000

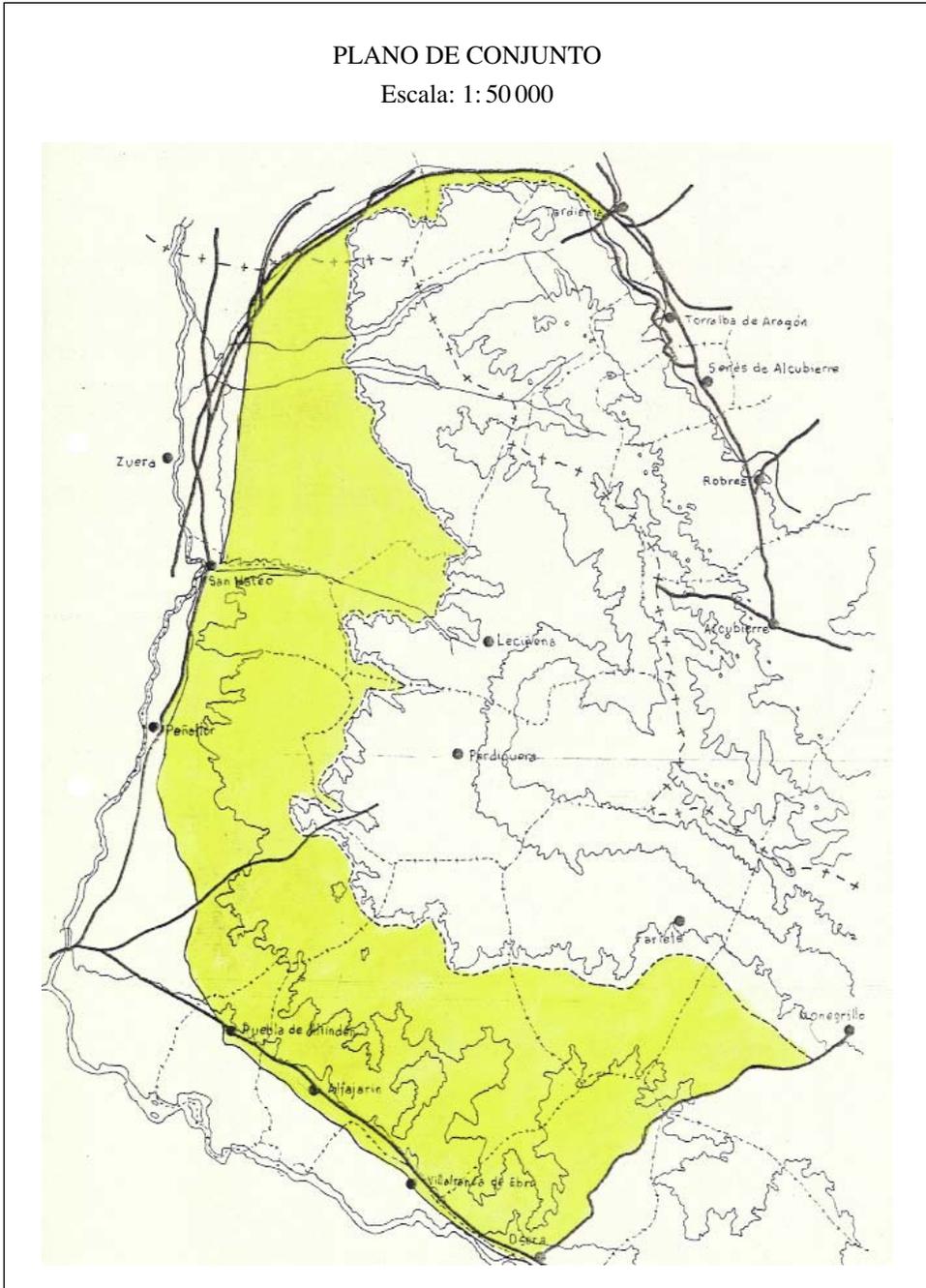


Fig. 14. Canal de Monegrillo, según el Plan Susín.

Pero no siempre se ha propuesto regar esta zona desde Tardienta. En 1954, el *Informe Fernández-Durán* deriva un primer canal en dirección a Monegrillo y Farlete desde la boca sur del túnel de Alcubierre. Esto lleva a la propuesta de un canal complementario para abastecer la zona alta. Denominado *canal de Leciñena*, con 126 kilómetros, saldría de Tardienta por terreno accidentado hasta esta localidad y regaría 18 733 hectáreas (ALBASINI, 1982a).

En estudios posteriores se definía como acequia de Monegrillo una que arrancaba desde el final del primer tramo del canal de Sástago. La acequia tendría una longitud de 25,68 kilómetros, un caudal de diseño de 6,78 m³/s y un embalse regulador en Valdelsordo (ZAERA, 1989).

CANAL DEL EBRO

En SUSÍN (1954) y otros documentos se menciona un canal del Ebro que fue solicitado por el Sindicato Central de Riegos del Alto Aragón, en instancia al ministro de Obras Públicas. Se iniciaría en el meandro de Juslibol con un caudal de 10 m³/s y una longitud de 13,85 kilómetros. Cruzaría el Gállego por un acueducto de 96 metros y pasaría por las cercanías de Santa Isabel, La Puebla de Alfindén y Osera, hasta Pina de Ebro (fig. 15). Regaría la zona inferior de los riegos del Bajo Gállego, permitiendo así reducir la aportación de este último río desde La Peña. Señalemos que el punto del inicio del canal del Ebro, un acusado meandro del Ebro al este de Juslibol, quedó aislado del cauce principal por la gran riada de enero de 1961, formándose el actual galacho de Juslibol. Un canal similar, mediante bombeo, también se menciona en CEDEX (1960: 35), junto con el revestimiento de las acequias de la zona final del Gállego. Al citado canal, años más tarde, en 1975, se le menciona como canal de Alfocea.

EL INGENIERO FERNANDO SUSÍN HERNÁNDEZ

Parece oportuno dar alguna información sobre el ingeniero Susín, cuya primera biografía es la realizada por uno de sus yernos (MUZÁS, 2003). Fernando Susín Hernández nació en 1904, hijo de Vicente Susín Tello y Victoria Hernández Faro. Estudió de 1914 a 1920 en el Instituto General y Técnico

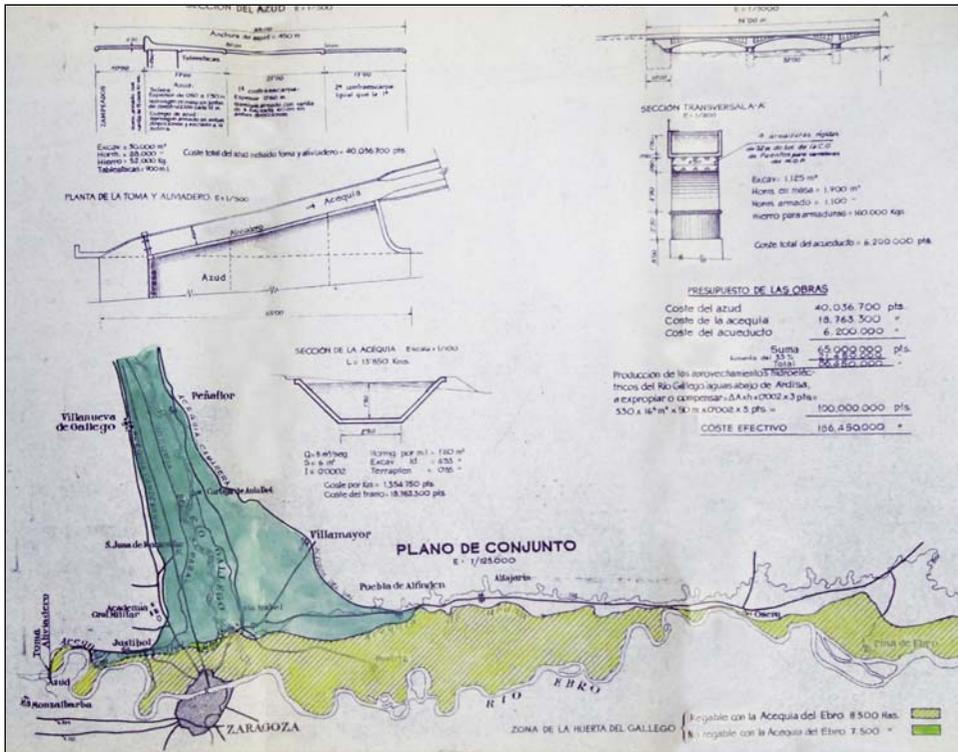


Fig. 15. Canal del Ebro, según el Plan Susín.

de Huesca, con 16 sobresalientes en 30 asignaturas (AHPHu: I 754/470). Ingresó en la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, y acabó sus estudios en 1929 (*Diario de Huesca*, del 16 de junio). Obtuvo el doctorado, quizás en relación con el proyecto fin de carrera, algo habitual en aquella época. Se casó el 3 de octubre de 1934, en la iglesia de la Compañía, con Josefina Pie Sopena, de la que tuvo tres hijos: Fernando, Josefina y María Victoria. En ese momento estaba destinado en la Confederación Hidrográfica del Júcar, aunque en marzo de 1935 figuraba como afecto a Riegos del Alto Aragón. En diciembre de ese año, estaba de comisión en Madrid donde nació su primer hijo. Pasó la Guerra Civil en Murcia, donde firmó, el 17 de abril de 1937, el proyecto de un sifón de 88,60 metros para el cruce de una acequia por la rambla de Nogalte a su paso por Puerto Lumbreras (GÓMEZ ESPÍN, 2004: 131). En marzo de 1940, estaba en Huesca como ingeniero jefe accidental en el anuncio oficial de un concurso

de arreglo de 4 kilómetros de la carretera de Jaca a Biescas. Participó en el diseño y en las reconstrucciones de puentes destruidos durante la guerra. Proyectó en 1940 la reconstrucción del puente de Albalate de Cinca (SUSÍN, 1950). En Fraga, además del puente principal, construyó otro para servicio local (*Nueva España*, del 16 de mayo de 1944). Impulsó proyectos de carreteras como la nueva de Monrepós y sus túneles (BALAGUER, 1993), la de Bielsa-Aragnouet (*Nueva España*, del 29 de noviembre de 1960 y del 30 de septiembre de 1964) y la de Benasque – Bagnères de Luchon (AHPHu: F 89/27). También desarrolló métodos de financiación de asfaltado de carreteras secundarias y sobre revestimientos anti-deslizantes (SUSÍN, 1957, 1961), y redactó el plan de urbanización de la plaza de Santa Clara de Huesca. Era un gran conocedor de la realidad de las carreteras oscenses; en este ámbito fue ingeniero jefe, que cuidó con eficacia el mantenimiento de aquellas, tanto en firmes como en señalización. Fue también muy activo en temas de obras hidráulicas. Autor del proyecto de abastecimiento de aguas de Peñalba y Candasnos, con cerca de 42 kilómetros de longitud. También del proyecto del pantano de Manjarrés de 2,7 hm³ y un presupuesto de 25 326 070 pesetas (*Nueva España*, del 5 de marzo de 1963 y del 26 de julio de 1969). Este pantano tomaba aguas del Isuela y su capacidad era ampliable para recoger agua del Flumen. Asimismo, estudió la prolongación del canal de Tauste y un posible trasvase Segre-Llobregat (*La Vanguardia*). Se jubiló en 1974, recibiendo diversos homenajes.

Descendiente de una saga de propietarios agrícolas, su vocación era la de agricultor. Fue regante en la zona Grañén-Montesusín y adquirió también tierras en Bardenas, en la zona de Sopeña, cerca de Ejea de los Caballeros. Llegó a ser vicepresidente y presidente del Sindicato Central de Riegos del Alto Aragón.

Entre otros cargos, fue delegado del Ministerio de Obras Públicas en la provincia de Huesca (*BOE*, de 30 de enero de 1967), miembro de la Comisión Técnica Provincial, del Consejo Económico Sindical Provincial y consejero del IEA. Le fue concedida la Medalla de Oro de la provincia en diciembre de 1971 (ARCARAZO, 2017) y la Medalla de Oro de la Ciudad de Huesca en 1974 (COSTA, 2006). Murió en Huesca en 1993, a los 89 años. Tiene dedicada una calle en su ciudad.

Fernando Susín, por el matrimonio de su hermana Cándida, era cuñado de Agustín Plana Sancho, militar, ingeniero de armamento, director técnico de Altos Hornos de Vizcaya, fundador y director, de 1947 a 1963, del Instituto del Hierro y del Acero del CSIC, y subsecretario del Ministerio de Obras Públicas desde 1957 a 1967.

El trasvase Segre-Barcelona (Plan Susín, 1974)

En noviembre de 1970, el Gobierno acordó que se llevaran a cabo los estudios necesarios para cubrir las necesidades *detectadas* en la cuenca del Pirineo oriental, léase el entorno urbano e industrial de Barcelona. El 11 de febrero de 1972, se acordó la redacción de los proyectos del esquema del trasvase del Pirineo oriental dentro del plan de aprovechamiento de los excedentes del Ebro. No es posible realizar aquí un resumen sobre las polémicas sobre los diversos trasvases del Ebro (Ebro – Pirineo oriental, a Barcelona; Cherta-Calig; minitrasvase al Campo de Tarragona; o el trasvase a Valencia y Almería). Aunque alguno de ellos había sido ya señalado en el Plan Nacional de Obras Hidráulicas de 1933, la polémica estalla en 1970, generando una fuerte oposición en Aragón. Incluso Susín, con seudónimo, expuso las razones aragonesas en la revista *Triunfo* (SUNER, 1974).

En paralelo, como ingeniero, Fernando Susín propuso una alternativa al trasvase del Ebro a Barcelona mediante otro desde el río Segre con un túnel de 50,7 kilómetros desde Ponts, aguas arriba de la toma del canal de Urgel a cota 345 metros, hasta la riera de Rajadell, afluente del Llobregat, a cota 278 metros, aportando 650 hm³. En una fase posterior, si hiciera falta, se realizaría otro túnel de 41 kilómetros para trasvasar 750 hm³ adicionales desde el Noguera Ribagorzana, arrancando a media altura, en la cota 380, en la presa de Tarradets hasta el Segre. Señalemos que, en esa misma línea, el IRYDA (1975) propone otras tres alternativas, con túneles, desde el embalse de San Lorenzo, aguas arriba de Balaguer hacia la riera de Rajadell (83 kilómetros y pendiente de 0,9639 m/km) y hacia los ríos Noya (81 kilómetros y pendiente de 0,9877 m/km) y Gayá (77 kilómetros y pendiente de 1,039 m/km). Las propuestas, recogidas en *La Vanguardia* del 1 y 7 de septiembre de 1978, no fueron bien acogidas por los regantes del canal de Urgel por competir con el canal Segarra-Garrigas.

El Monrepós

Además de su Plan de Riegos, el otro proyecto estrella de Fernando Susín fue, como ingeniero jefe de la delegación de Obras Públicas de Huesca, la mejora de las comunicaciones entre el Pirineo y el valle del Ebro a través del Monrepós. El enlace preferente Pirineos-Zaragoza-Valencia ya figuraba en el Programa de Autopistas Nacionales Españolas (PANE) del Ministerio de Obras Públicas aprobado en 1967. El punto clave era el tramo entre Nueno y el Guarga, que según el ingeniero se realizó con “un trazado bastante económico, pero muy deficiente” (SUSÍN, 1971), sobre una pista militar completada en 1945. La búsqueda de alternativas le llevó a Susín mucho tiempo. La figura 16 presenta el razonamiento de Susín, que opinaba que la unión entre Francia y España debía pasar por Zaragoza y Huesca.

Es evidente la existencia de diversas alternativas para atravesar el Monrepós. Susín era partidario de un túnel. Bajo su dirección la empresa EISER redactó varias soluciones de variantes. La solución A2 tenía 1305 metros en túnel mientras que la D necesitaba perforar 7380 metros. La figura 17 presenta el perfil de una de las soluciones.

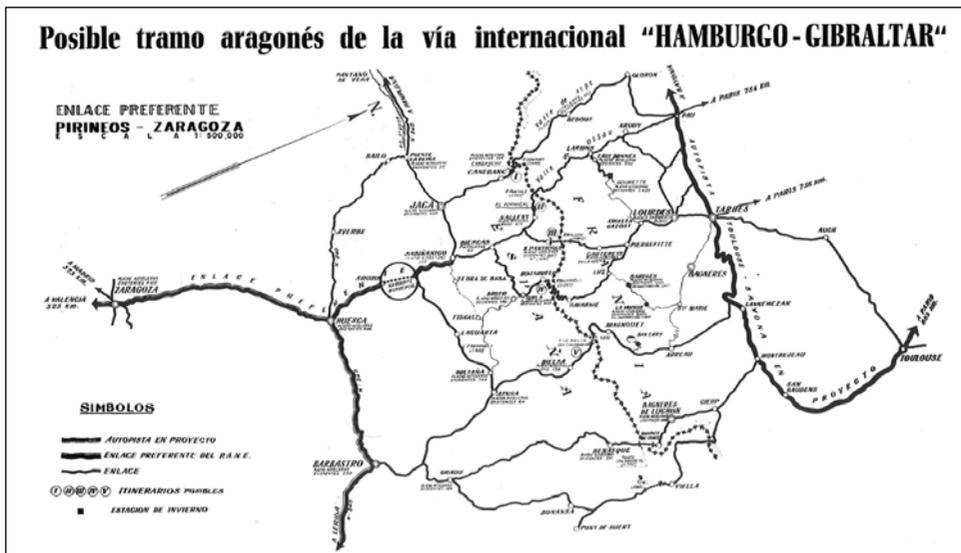


Fig. 16. Enlace preferente Pirineos-Zaragoza (SUSÍN, 1971).

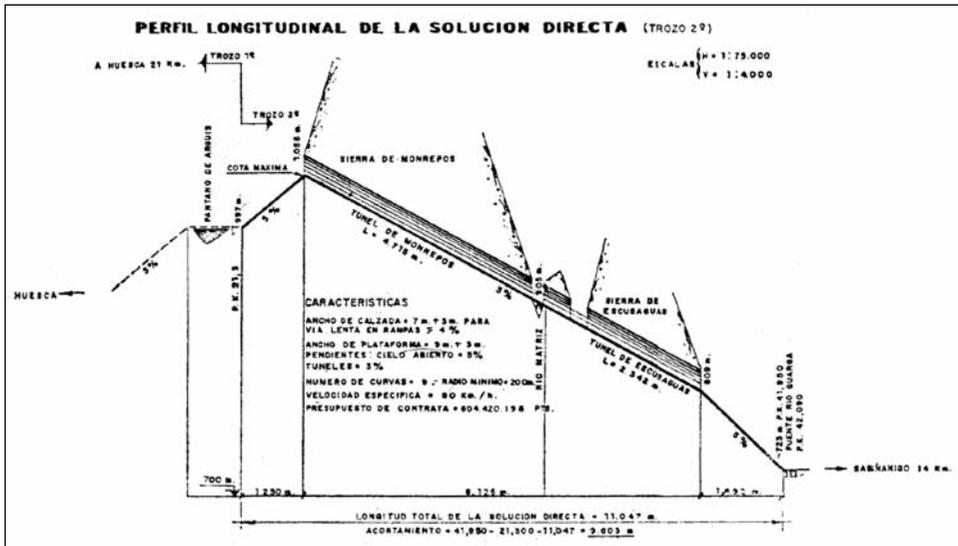


Fig. 17. Perfil de la solución Susín para el puerto del Monrepós, por EISER.

CONCLUSIONES

Evidentemente, es necesario emplazar y analizar el Plan Susín en su momento. El siglo XX supuso una impresionante transformación de la provincia de Huesca cuando se construyeron en el Alto Aragón y su entorno inmediato doce grandes embalses y del orden de cincuenta centrales eléctricas, al tiempo que se pusieron en regadío más de 200 000 hectáreas. Las comunicaciones se mejoraron sensiblemente, con el ferrocarril del Canfranc, nuevas carreteras, más tarde autopistas y el AVE. Es también un periodo de cambios sociales y económicos, testigo de una terrible emigración hacia fuera de la provincia y de un cambio del modelo de producción hacia un modelo más urbano.

El Plan se genera, además, a finales del periodo de la autarquía del primer franquismo, donde se concedió un importante papel a la agricultura de regadío como prueba del interés por la colonización. Fue también un periodo con un impresionante avance de la ingeniería. Así, se tardaron doscientos años para pasar el embalse de Arguis, de 2,7 hm³ a los 25 hm³ de La Peña, pero solo cincuenta para alcanzar los 450 hm³ de Yesa. Algo similar sucedía con la perforación de túneles o con la construcción de canales y acueductos,

en los que la mecanización aceleraba el trabajo y eliminaba mano de obra. Reseñemos también la presencia de una gran empresa estatal de construcción, Auxini, radicada en Huesca.

Es evidente que se pueda calificar al Plan como ambicioso, pero también se dijo de otros. Tenía un objetivo muy claro: incrementar la dotación disponible en RAA, al menor coste posible, incluso desde cuencas lejanas. Subyace, sin duda, el carácter de regante de su autor, muy influido por la dura sequía de los años cuarenta y cincuenta. Es también evidente la calidad del ingeniero que presenta soluciones concretas en forma de anteproyectos. Por supuesto que tuvo apoyos sociales del sector agrario altoaragonés e incluso entre los políticos provinciales. También es muy probable que tuviera el respaldo técnico para avanzar en el desarrollo de sus ideas iniciales, destacando sus contactos familiares en el Ministerio de Obras Públicas.

¿Por qué no avanzó el Plan? Se pueden aducir diversas razones. Algunas económicas, dado que implicaba una fuerte inversión estatal en un periodo muy corto para que los saltos hidroeléctricos que se encontraban al final del sistema fueran atractivos para la empresa privada. Evidentemente, el Plan también suponía importantes afecciones en Navarra. Asimismo, afectaba a los sistemas de riegos del Bajo Gállego, Bardenas y Aragón y Cataluña. Igualmente, eliminaba concesiones de Eléctricas Reunidas de Zaragoza (ERZ) y de la Empresa Nacional Hidroeléctrica del Ribagorzana (ENHER). Alguna razón puede ser más prosaica como el efecto desmovilizador, para el mundo del regadío, del periodo lluvioso de la década de 1960. A mayor escala, sería necesario analizar los efectos del Plan de Estabilización, el *Informe* del Banco Mundial, la construcción de las primeras centrales nucleares o los proyectos de trasvases del Ebro sobre la política de construcción de nuevas obras hidráulicas y regadíos, que sufrieron un serio parón en los años setenta. Cuando se retomaron estos temas, ya estaban cambiando algunos paradigmas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el trabajo de recopilación de informes inéditos realizado, ya hace años, por J. M. Sarrate y A. Moreno, con una ayuda del Instituto de Estudios Altoaragoneses. También hay que señalar la excelencia profesional,

y paciencia, de A. Oliva, E. Puyol y S. Navarro, de la biblioteca del IEA; E. Escar, A. Oliva, R. Serrano, N. Hijós, I. Arner, L. Blanco y M.^a A. Escar, de la biblioteca de la Escuela Politécnica Superior de Huesca; M. Alfranca, L. F. Jaime, A. B. Justes, J. M. Tierz y el resto del personal del Archivo Histórico Provincial de Huesca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALASTUEY, M. P., y J. A. CUCHÍ (2016). El Molinaz en la Galliguera: una aproximación a su historia. *Anales de la Fundación Joaquín Costa*, 29: 7-40.
- ALBASINI, C. (1978). Propuesta de estudio de la nueva zona regable Hoya de Huesca – Somontano de Guara. *Argensola*, 86: 289-310.
- ALBASINI, C. (1979). *Esquema de un posible aprovechamiento conjunto de los ríos del Alto Aragón*. Informe inédito. 6 pp., 15 fichas.
- ALBASINI, C. (1980). Regadíos. En *Estudio de reconocimiento territorial de Aragón (Inter-Aragón)*. Zaragoza. 147 pp.
- ALBASINI, C. (1981). *Aguas y riegos de Aragón dentro de la cuenca del Ebro*. Informe inédito. 19 pp.
- ALBASINI, C. (1982a). *El canal de Monegrillo, ampliación viable de Riegos del Alto Aragón junto con el canal de Leciñena*. Informe inédito. 16 pp., anejos.
- ALBASINI, C. (1982b). *El canal de Huesca*. Informe inédito. 14 pp.
- ALBASINI, C. (1983). *Posibilidades de riego con los ríos Aragón, Gállego, Alcanadre y Cinca*. Informe inédito. 16 pp.
- ARCARAZO, L. A. (2017). El Dr. D. Franco García Bragado, el médico militar que modernizó la cirugía en Huesca. *Sanidad Militar*, 73: 129-139.
- AYUNTAMIENTO CONSTITUCIONAL DE ZARAGOZA (1867). *Memoria razonada de los acuerdos tomados por esta Corporación en el asunto relativo a la traída de aguas portables para el abastecimiento de la Ciudad y construcción del alcantarillado general para el desagüe de las sobrantes de aquellas*. Imprenta y litografía de Agustín Peiró. Zaragoza. 24 pp.
- BALAGUER, F. (1954). Los riegos en la Plana de Huesca. *Argensola*, 17: 49-56.
- BALAGUER, F. (1993). Ha muerto el consejero del IEA don Fernando Susín. *Argensola*, 107: 321-322.
- BOLEA, J. A. (1978). *Los riegos de Aragón*. Sindicato Central de Riegos del Alto Aragón. Zaragoza. 535 pp.
- BOLEA, J. A. (1999). Costa y los riegos de Aragón. *Anales de la Fundación Joaquín Costa*, 16: 5-26.

- BOLETÍN OFICIAL DEL MINISTERIO DE FOMENTO (1861). Tomo XXXIX. Imprenta Nacional. Madrid. 646 pp. <<https://books.google.es/books?id=k7xp72YBcaUC>>
- CAE (1979). *Nota informativa sobre la concesión del salto de Marracos perteneciente hoy a Eléctricas Reunidas de Zaragoza, S. A.* Comisaría de Aguas del Ebro. Informe inédito. 6 pp., 4 anejos.
- CHE (Confederación Hidrográfica del Ebro) (1955). *Memoria del proyecto de pantano de El Grado.* Documento inédito. Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza. 144 pp.
- CHE (Confederación Hidrográfica del Ebro) (1976). *Memoria 1946-1975.* Octavio y Félez. Zaragoza. 474 pp.
- CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas) (1960). *Estudio de la regulación del río Gállego y anteproyecto del nuevo pantano de La Peña.* Informe inédito. Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid. 75 pp.
- CESP (Consejo Económico Sindical Provincial) (1967). *Ponencias y conclusiones del IV Consejo Económico Sindical Provincial de Huesca.* Imprenta R. García Blasco. Madrid. 461 pp.
- COSTA, M. (2006). *Canal y riegos de la Hoya.* En A. Castán (coord.), *Comarca de la Hoya de Huesca: 295-302.* Diputación General de Aragón (Colección Territorio, 22). Zaragoza.
- DE LOS RÍOS ROMERO, F. (1966). *Colonización de las Bardenas, Cinco Villas, Somontano y Monegros.* IFC. Zaragoza. 56 pp.
- DGA (Diputación General de Aragón) (1986). *Informe sobre los riegos de Aragón.* Diputación General de Aragón. Zaragoza. Memoria, 179 pp., anejos, 192 pp. y 4 planos.
- GARCÉS, C. (2006). La mina de Bonés. Agua y fracaso en la Huesca del siglo XVII. *Argensola*, 116: 111-170.
- GOMEZ ESPÍN, J. M.^a (2004). *Aprovechamiento integral del agua en la Rambla de Nogalte (Puerto Lumbreras – Murcia).* Universidad de Murcia. Murcia. 187 pp.
- IRYDA (Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario) (1974). *Canal de Huesca. Notas preliminares.* Informe inédito. Inspección Regional del Ebro. Zaragoza. 4 pp.
- IRYDA (Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario) (1975). *Notas sobre el proyecto trasvase Segre – Barcelona (Plan Susín, 1974) al de Huesca. Notas preliminares.* Informe inédito. Inspección Regional del Ebro. Zaragoza. 4 pp.
- IRYDA (Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario) (1977). *Informe sobre la posible regulación de los ríos Aragón e Irati.* Informe inédito. Inspección Regional del Ebro. Zaragoza. 8 pp., 1 mapa.
- IRYDA (Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario) (1978). *La zona regable Hoya de Huesca – Somontano de Guara.* Informe inédito. Inspección Regional del Ebro. Zaragoza. 13 pp., 1 mapa.

- LAFUENTE, J., y J. GRAGERA (2013). *El siglo de La Peña, 1913-2013: historia de un pantano centenario en el río Gállego*. Doce Robles. Zaragoza. 249 pp.
- LORENZO, M. (1933). *Plan Nacional de Obras Hidráulicas*. Edición comentada, 2 tomos. Rivadeneyra. Madrid.
- MARCUELLO, J. R. (1992). *Francisco de los Ríos*. Diputación General de Aragón (Memorias de Aragón, 1). Zaragoza. 136 pp.
- MARTÍN-RETORTILLO, S. (1996). Dos antecedentes aragoneses de las Confederaciones Hidrográficas: el Plan de Riegos del Alto Aragón y el I Congreso Nacional de Riegos de 1913. *Revista Aragonesa de Administración Pública*, 8: 11-65.
- MATÉU, J. J. (2017). *Enginyers i regants. El canal d'Aragó y Catalunya (1986-1940)*. Edicions de la Universitat de Lleida. Lérida. 256 pp.
- MUZÁS, F. (2003). Fernando Susín: el ingeniero comunicador. *4 esquinas*, 158.
- NICOLÁU, J. (1912). Proyecto de riegos del Alto Aragón. *Revista de Obras Públicas*, 1904: 137-141.
- NICOLÁU, J., y F. DE LOS RÍOS (1911). *Proyecto de los riegos del Alto Aragón (Sobrarbe, Somontano, Monegros)*. Tipografía El Anuario de la Exportación. Barcelona. 72 pp., 1 mapa.
- PALLARUELO, S. (1994). *Los molinos del Altoaragón*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 39). Huesca. 310 pp.
- PORTA, F. (1962). El crecimiento del pantano de La Peña y los riegos oscenses. *Argensola*, 49: 37-54.
- SUNER (seudónimo de F. Susín) (1974). Las aguas del Ebro: una reivindicación aragonesa. *Triunfo*, 600: 29-31.
- SUSÍN, F. (1950). El puente de Albalate de Cinca. *Revista de Obras Públicas*, 98, tomo I (2821): 262-264.
- SUSÍN, F. (1954). El recrecimiento del pantano de La Peña. *Argensola*, 19: 235-242.
- SUSÍN, F. (1957). Plan económico para el revestimiento asfáltico de las carreteras secundarias españolas. *Revista de Obras Públicas*, 105, tomo I (2905): 230-233.
- SUSÍN, F. (1961). Revestimientos antideslizantes. *Revista de Obras Públicas*, 109, tomo I (2956): 641-646.
- SUSÍN, F. (1962). *Anteproyecto complementario de mejora y ampliación de los regadíos del Alto Aragón*. Documento inédito. 57 pp.
- SUSÍN, F. (1967a). *Ampliación de los Riegos del Alto Aragón con aguas del río Irati. Anteproyecto*. 57 pp.
- SUSÍN, F. (1967b). *Ampliación de los Riegos del Alto Aragón con aguas del río Irati. Boletín de Información de la Cámara de Comercio e Industria de Huesca*. 4 pp., 1 mapa.

- SUSÍN, F. (1971). Enlace preferente "Pirineos-Zaragoza". *Aragón Turístico y Monumental*, 300 (2): 23-24.
- SUSÍN, F. (1972). Mejora y ampliación de regadíos en Navarra y Aragón. *Boletín Informativo del Instituto de Ingenieros Civiles de España*, 118: 43-51.
- TOMELO, M. (1975). Notas prospectivas sobre economía aragonesa. *Teruel*, 54: 147-210.
- UCEDA, J. L. (1981). *Regulación del Gállego. Informe de síntesis*. Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza. (09.803.075/8011).
- VV. AA. (1952). *Recuerdo póstumo del ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Excmo. Sr. D. Joaquín Cajal Lasala. Su vida y su obra*. Gráficas Cinema. Madrid. 154 pp.
- ZAERA, O. (1989). *Estudio general de la infraestructura hidráulica de la zona de Monegros II del sistema de Riegos del Alto Aragón*. Informe inédito. Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza. (09.803.178/8011).

APROXIMACIÓN A LA GESTIÓN DEL AGUA EN CASTEJÓN DE MONEGROS (HUESCA)

José Antonio CUCHÍ¹ | José Luis VILLARROEL¹ | Carlos GARCÉS²

RESUMEN.— Este artículo presenta varios ejemplos sobre la gestión del agua en Castejón de Monegros, en la semiárida comarca de Monegros. Se complementa con información histórica de pleitos relacionados con el agua en esa localidad, alguno con la Casa de Ganaderos de Zaragoza y otros con el monasterio de Sigena.

ABSTRACT.— This paper presents several examples of water management in Castejón de Monegros, in the semi-arid region of Monegros, complemented by historical information on water-related lawsuits in that village, some between the Casa de Ganaderos of Zaragoza and with the Monastery of Sigena

KEY WORDS.— Water, irrigation, semi-arid area, Castejón de Monegros, Huesca (Spain).

INTRODUCCIÓN

Por su aspecto patrimonial, hay cierto interés en el estudio de los sistemas tradicionales de gestión del agua en las zonas semiáridas monegrinas,

Recepción del original: 15-9-2018

¹ 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

² garcesmanau@gmail.com

hoy prácticamente abandonados y en fase de desaparición. En esta línea, y durante los últimos tiempos, se ha dedicado algún trabajo a documentar sistemas de captación singulares como la fuente del Milagro de la cartuja de Monegros (RAUSA y cols., 2016), el sistema de aguas superficiales de Valdezaragoza – partidor de las Bastaresas de Lanaja (CUCHÍ y cols., 2018) y La Madre de Castejón de Monegros y su conducción subterránea (GISBERT y cols., 2017).

Este artículo se centra en las estrategias de captación y gestión del agua en el entorno de Castejón de Monegros, junto con alguna documentación histórica de tipo legal sobre conflictos en esta materia, complementando en parte el último trabajo mencionado.

CASTEJÓN DE MONEGROS

Castejón de Monegros está situado en el centro de esta comarca semiárida. Una parte importante de su término municipal se sitúa en la cuenca hidrográfica de val de Zapata, encajada en el espinazo que separa las llanuras monegrinas del norte y del sur. Con suaves alturas, en torno a los 600 metros, en esta zona el límite de términos por el norte sigue la divisoria de aguas por la sierra de Pallaruelo, mientras que por el sur hace lo mismo por las sierras de Farlé y Santa Quiteria. Por el oeste, la güega con Lanaja ocupa la cabecera hidrográfica citada, en un límite prácticamente lineal en dirección noreste-suroeste.

A la altura del núcleo urbano, Valdezapata se abre y se insinúa una antigua continuidad en la hidrología superficial por La Valle y el barranco del Peguero hacia la Valcuerna. Al sureste, el término se extiende por la llanura meridional de los Monegros y los límites con La Almolda son más políticos que geográficos. Sin embargo, por el noreste, la linde se dirige hacia el Alcanadre, en el accidentado entorno de Jubierre, salvando un espectacular escarpe. Por allí, accede a las terrazas del río por la orilla derecha e incluso pasa a la orilla opuesta formando un promontorio, sin límites geográficos precisos, en las terrazas fluviales, y lindando con el término municipal de Sena, hasta cruzar la A-131. Esto le permite disponer, hoy en día, de unas 700 hectáreas de regadío en la Comunidad de Regantes de LASESA (Lastanosa, Sena y Sariñena).

Salvo las terrazas fluviales del Alcanadre, el término está cubierto por materiales del Mioceno continental del Ebro; calizas blancas, yesos y limos lacustres muy erosionables y surcados por vales. La vegetación natural es de tipo semiárido.

Su único núcleo, Castejón de Monegros, *Castellón de Mon negros* en documentos antiguos, tiene un origen desconocido. A partir de la conquista cristiana pasa a ser aldea de Sariñena, de la que se independiza gradualmente. La construcción más elevada y muy característica de la localidad es la actual ermita de San Fabián y San Sebastián, resto de un castillo en caliza local que fue desmontado. GUITART (1979: 153) fecha esta edificación en la primera mitad del siglo XIII, mientras que CASTÁN (2004: 171-172) se inclina por fecharlo en el siglo XIV.

Es evidente que la localidad dispuso en el pasado de importantes ingresos, probablemente relacionados con el pastoreo invernal. En 1399, compran a Sariñena el rincón de Jubierre (BUIL y cols., 2011). Este lugar y el resto del término se compran en 1419 (MADOZ, 1985 [1845-1850]: 141). El 22 de marzo de 1587 adquieren de Felipe II la condición de villa, cuando ya tenían concejo con estatutos y nombramiento de justicia para cuantías menores (BUIL y cols., 2011).

Su economía se ha basado en parte en la agricultura, condicionada por la aridez del clima, en el carboneo y, sobre todo, en la ganadería trashumante, del Pirineo o del llano, que durante el invierno aprovechaba los pastos locales. El arriendo de hierbas para la trashumancia suponía una importante fuente de ingresos para la localidad, además de los servicios de hospedaje y avituallamiento para los pastores. Tras las desamortizaciones del siglo XIX y las roturaciones del XX, no es fácil saber cuál era la superficie pastable municipal antigua, a la que habría que añadir los barbechos particulares, en año y vez o año y dos veces. Hoy el Ayuntamiento solo dispone de pastos municipales en Jubierre, para unas cinco mil ovejas. Hay recuerdo reciente de la presencia de ganaderos de Ochagavía, Roncal, Ansó y Sallent. Hacia 1960 un ganadero de Garde pagó 140 000 pesetas por la hierba.

En consonancia con la afluencia invernal de ganados, la localidad tenía una feria de ganado ovino que se celebraba durante seis días en torno al día

de San Antón, en enero. Según parece se realizaba al abrigo de los soporales de la iglesia parroquial, que lleva el significativo nombre de Nuestra Señora de la Lumbre.

LOS RECURSOS HÍDRICOS DE CASTEJÓN DE MONEGROS

Es evidente que, en este medio semiárido, la gestión de los recursos hídricos es fundamental. Salvo la lejana agua permanente del Alcanadre, la mayor parte del territorio depende directa o indirectamente de las escasas e irregulares precipitaciones, a través de las limitadas escorrentías superficiales temporales, y de las aguas subterráneas.

Las precipitaciones presentan valores medios anuales ligeramente superiores a los 400 milímetros con fuertes oscilaciones interanuales (CREUS y cols., 1996; CREUS, 1998: 58). Las sequías pueden ser duras y largas. La temperatura media está cercana a los 13 °C, con una fuerte oscilación anual, en una horquilla que puede superar los 50 °C. La evapotranspiración potencial anual es alta, superando los 800 milímetros. El suelo solo mantiene un nivel aceptable de humedad durante los meses de invierno para el crecimiento de la vegetación natural xerófita, que sirve de pastos invernales para los ganados trashumantes. La botánica de las comunidades vegetales de este sector del valle del Ebro se describe en BRAUN-BLANQUET y DE BOLÒS (1987). Su valor nutritivo ganadero se estudia en BARRANTES y cols. (2004a, b, c y 2005) y REINÉ y cols. (2004).

Los temporales de otoño y primavera y, sobre todo, las tormentas veraniegas originan en las vales avenidas tipo *flash flood*, de corta duración, que pueden ser muy destructivas. A efectos del almacenamiento natural de agua en el suelo, y el oportuno desarrollo vegetal, la infiltración de los suelos y de las rocas locales, poco estudiada, es un factor decisivo que se modifica sustancialmente por laboreo, abandono de tierras o pisoteo del ganado.

Aunque en los balances teóricos de agua en el suelo no se deducen drenajes profundos, es evidente la existencia de acuíferos en la base del relleno de las vales más importantes como Valdezapata. Es muy posible que, además de la lluvia directa sobre la superficie de la val, generalmente cultivada, la recarga incluya parte de las escorrentías de las laderas perifé-

ricas de las vales al llegar a la superficie del relleno de estas. Los espesores saturados son muy modestos y oscilan con las variaciones interanuales de lluvia (CUCHÍ, 1989). En estos acuíferos, el agua fluye siguiendo el curso del barranco original. Variaciones en la pendiente longitudinal o en el espesor del relleno modifican la profundidad del freático desde la superficie, en ocasiones reflejada por la presencia de freatofitas e, incluso, dando afloramientos puntuales y temporales de agua. Estos indicios han debido de ser utilizados históricamente en la excavación empírica de pozos en los Monegros.

CAPTACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL: EL AGUA DE MONTE

La captación de escorrentías superficiales derivadas de algunas precipitaciones se puede hacer favoreciendo la infiltración *in situ*, mediante el laboreo y el abanclado, o recogiendo las escorrentías de zonas baldías mediante agüeras y dirigiéndolas hacia zonas de cultivo o balsas de variada tipología.

Abanclado

La técnica más elemental para la gestión del agua superficial es el abanclado artificial con disminución de la pendiente. Puede hacerse mediante construcción de muros de piedra que, además, retienen sedimentos de las escorrentías en su parte superior. También se hacen recortando la pendiente longitudinal de la val o ladera y adosando un muro al corte o dejando una espuela en tierra, más soluciones mixtas. El abanclado reduce la velocidad de las aguas superficiales, aumenta la profundidad del suelo y, mediante laboreo y alcorcado, incrementa la infiltración. Menor pendiente supone menos escorrentía superficial, menos erosión, más almacenamiento de agua en el perfil del suelo, más productividad agraria y más recarga de aguas subterráneas. Pero exige un mantenimiento e incluso su reconstrucción, especialmente tras avenidas importantes. Esta técnica ha sido muy usada en el norte de África y en el cercano Oriente. Véanse, por ejemplo, EVENARI y cols. (1968 y 1982), OWEIS y cols. (2001 y 2004), BECKERS y cols. (2013).

La vista aérea del termino de Castejón revela un impresionante trabajo de abancalado (fig. 1), fruto de una importante inversión en mano de obra y de transporte de sillares que aparecen precortados por diaclasas geológicas. El paisaje es especialmente espectacular en la parte occidental del término. No hay información sobre cuándo se empezó a utilizar esta técnica en el valle del Ebro, que parece venir de antiguo, pero se especula que hubo un pico de construcción de estas estructuras en el siglo XVIII, coincidiendo con un repunte poblacional. Este paisaje cultural tiene un evidente valor patrimonial (fig. 2), pero las estructuras necesitan un adecuado mantenimiento, difícil en el momento actual de disminución de la mano de obra rural y de mecanización de la agricultura.

Al favorecer el almacenamiento de agua en el perfil del suelo, los bancales incrementan también la recarga de las aguas subterráneas. De forma consciente, esta técnica se ha utilizado en diversas zonas semiáridas en el

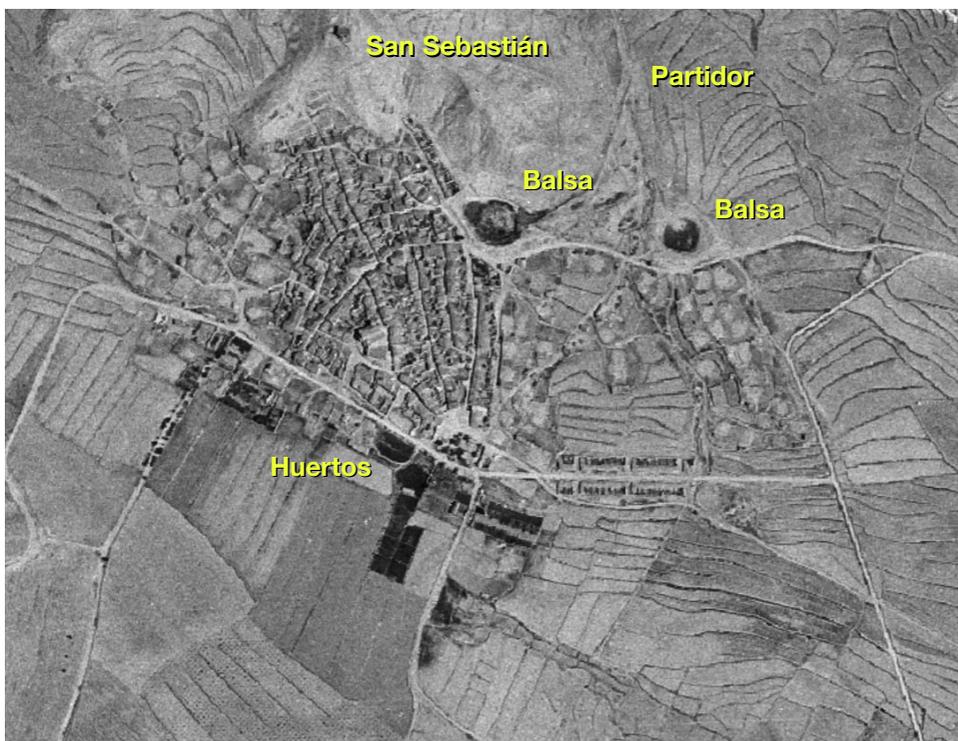


Fig. 1. Imagen aérea de Castejón de Monegros en 1956.
(CNIG-IGN, Vuelo americano Serie B)



Fig. 2. Muro de bancal y vista del relleno entre Castejón de Monegros y La Madre.



Fig. 3. Bancales transversales en *el Manantial* (Valdezapata).

mundo mediterráneo y en algunas zonas del Alto Aragón, y se cita localmente para recarga de La Madre, donde se habla de un *punchado*. Es posible que los bancales de la figura 3, situados aguas arriba de La Madre, también cumplieran esta función, al embalsar parcialmente el agua de las avenidas temporales. La zona se conoce como *los Manantiales*, por aflorar esporádicamente algo de agua subterránea.

Balsas para personas y animales

La recogida de escorrentías superficiales se ha utilizado para el abastecimiento de personas y de animales. La técnica más elemental es la recogida de agua de los tejados de edificios, el *agua de canalera*, a algún tipo de aljibe cerrado de muy modesta cabida. El método exige, además, eliminar las primeras aguas para suprimir tierras y materia orgánica, incluidos pequeños animales muertos, y la limpieza periódica del contenedor.

Mayores volúmenes se obtienen gestionando las esporádicas escorrentías del terreno mediante agüeras, acequias jerarquizadas hacia las balsas. Como se describe en PEDROCCHI (1998: 74), se diferencian los usos humanos y los ganaderos. Las de abastecimiento humano son prismáticas, con paredes de piedra, y provistas, ocasionalmente, de estrechas escaleras, que controlaban el acceso al agua (fig. 4, izquierda). Las ganaderas, como las del Consejo y de la Sierra, son vagamente troncocónicas, en tierra y suave pendiente que permite el acceso simultáneo de numerosos animales (fig. 4, derecha). En muchos casos se presentan asociadas. Las balsas recogen



Fig. 4. Balsa de agua buena (izquierda); balsa ganadera (derecha).

ETRS89 H: 30. X: 722333;Y: 4612268.

abundantes sedimentos, lo que obliga a su limpieza periódica. Suelen acumular plantas rodantes tipo capitanas.

A efectos de consumo, una persona puede necesitar del orden de los 5 l/día. Hay que tener en cuenta que la vida del pastor trashumante era francamente sobria y las condiciones de sus cabañas eran muy básicas. Una oveja consume volúmenes del mismo orden. Había también que contar con algunos caballos, mulos y asnos para transporte, que demandan mayor cantidad de agua y de mejor calidad que las ovejas.

Algunas localidades monegrinas utilizaron este sistema para abastecimiento público. Un breve listado, no exhaustivo, se presenta en CUCHÍ y cols. (2017). La mayor parte de estos sistemas de recogida de aguas se han roturado a partir de abastecimientos desde el canal de Monegros.

Las balsas son un sistema barato pero poco eficiente para conservar agua. La evaporación, directamente relacionada con la temperatura, la radiación solar y el viento, e inversamente con la humedad relativa del ambiente, puede eliminar varios milímetros (l/m^2) al día. La infiltración a través de la base, aun en suelos arcillosos, es de uno o dos órdenes de magnitud mayor.

El riego con escorrentías superficiales

Las esporádicas escorrentías, canalizadas por caminos y agüeras, tenían también un claro interés para usos agrícolas, bien por conducción del agua hacia campos abancalados o bien por acumulación en balsas para riego de huertos.

Un ejemplo de ambas técnicas en Castejón aparece en un documento del Archivo Histórico Provincial de Zaragoza (AHPZ) (J011941/00002). Es una protesta de Francisco Antillón, vecino de la villa de Castejón de Monegros, contra José Buil, vecino de la misma y barón de la Cruz Roja, título del que informan BUIL y cols. (2011: 127). Apellido y título aparecen implicados en diversos pleitos antes y después de la guerra de la Independencia, por lo que puede haber alguna duda entre Buil padre o hijo, pero parece que la persona aludida en este legajo es José Buil Ximénez y no su padre, José Buil Foz.

En el legajo arriba citado, en un primer documento fechado el 14 de marzo de 1798, Francisco Antillón presenta una firma contra José Buil. En

un segundo documento, nombra a sus procuradores: Manuel Herrero, Antonio Lafiguera y Licer Moliner, siendo testigos Foradada y Joseph Castejón, de la villa. Es escribano Theodoro Matheo Buesa y el documento es bastanteado por Agustín Alegre. Antillón expone que tiene un campo de 2 cahíces de tierra blanca con algunos empeltres en la huera de los bancales del Heredero, y que confronta con el camino de Valfarta, el camino de Santa Ana y campo de Francisco Mayoral, que riega de tiempo inmemorial de una “huera” que conduce las aguas que se recogen dentro y fuera de la villa, y va a parar a su campo, pero hay quien le quiere “turvar, vejar y molestar” en este derecho. En Zaragoza, ante Ángel Elizondo, presenta como testigos a Bernardo Gavín, de 64 años, quien se lo oyó a su padre, y a Viturián Ibar; Bernardo Ceresuela (66 años), quien lo regó por orden de Francisco Mayoral, anterior dueño del campo, y que ese campo tenía derecho a riego y se lo oyó a Jusepe Juan Antón y Domingo Tormes. Por último, Joaquín Morón (60 años), que se lo oyó a su padre, Melchor, y a Jusepe Urzia. Por su parte, Joseph Buil nombra, el 19 de noviembre de 1796, como procuradores a Pedro Nolasco Guillén, Thomás Gudal, Andrés de Fraire, Sebero Payán y Licer Moliner. Son testigos Joaquín Moreno y Bardají y Josef Crespo, estudiantes de jurisprudencia en la Universidad Literaria de dicha ciudad (Zaragoza). Sigue el signo de Miguel Assín y Roca, escribano. Bastantea el doctor Samitier. El documento concuerda con el original por firma de Pasqual de Almagel. El barón de la Cruz Roja contrafirma diciendo que es propietario de unos huertos sitios en la partida del Plano, que confronta con la balsa del mismo nombre, y que los riega con las aguas que discurren por las *balles* y se recogen por una huera en la balsa. Y que ha tenido noticia de que le quieren “turbar, bejar y molestarle” en dicho uso, goce y posesión pacífica. Asimismo, señala que también su padre ha contrafirmado. El 17 de marzo la Audiencia envía la contrafirma a Antillón y, como este no contesta, el 14 de mayo de 1798, Juan de Guillelmi y Andrada, teniente general de los Reales Ejércitos de Su Majestad, gobernador y capitán general de Aragón y presidente de la Real Audiencia, admite la contrafirma y comunica al primer querellante que “os inhibimos, que de fecha ni de otra manera indebida, ni socolor y pretexto de la Firma, no por otra causa, turbéis, vegéis ni molestéis al dicho D. Joseph Buil”. El 20 de junio se hace un primer intento de comunicar la provisión de contrafirma a Antillón a cargo de Buesa, en casa de aquel. Su hija María Ana informa de que está segando en el campo,

pero días más tarde recibe la comunicación. Aquí acaba este legajo. Pero es claro que la mala relación entre ambos continuó (ES/AHPZ J/011409/000003, J/000944/000013 y J/000946/000018). Desde luego, Buil parece tener una mala relación con el Ayuntamiento. Así, en 1784 se querrela contra la propuesta de empleos en la villa (ES/AHPZ – J/010572/000005) y hay otros legajos, antes y después de la guerra de la Independencia, donde el barón de la Cruz Roja, y en un caso su esposa, aparecen en pleitos, alguno por deudas. Su estudio y sus análisis desbordan este artículo.

Un estudio aerofotogramétrico e informes orales indican que en el entorno cercano a Castejón se regaban unas 2 hectáreas con el agua de La Madre, como se ve en la figura 1. Parece que regaban con el acuerdo entre los usuarios, aunque hay recuerdo de toma de decisiones en la materia por Luis Alcrudo Foradada, juez municipal hacia 1915.

Además, pudo regarse con agua del barranco de Ballesteros, que desde el norte llega al este del núcleo urbano, y del que se nutrían dos balsas que se ven en la figura citada. La distribución original del agua se realizaba desde un azud cercano a la localidad (fig. 5). En sus cercanías se encontraba el tejár del pueblo. De las balsas, solo la oriental, la *nueva*, subsiste en su aspecto original (fig. 6) y se empleaba para abrevar ganados. Se recuerda alguna avenida, que sobrepasó a esta y que afectó al barrio *nuevo*, construido en el clásico estilo de Regiones Devastadas. La occidental, que servía para beber, tenía otras dos menores adjuntas para decantación. Hoy se ha transformado en depósito de agua potable local por bombeo, desde el canal de Monegros.

Hacia 1970 se construyó un embalse en el barranco de Ballesteros, probablemente dentro del programa de *lagos colinares* del Instituto Nacional de Colonización. Recogía las escorrentías de unas 120 hectáreas de monte. Al parecer, solo muy esporádicamente ha recogido escorrentías, como en la lluviosa primavera de 2018.

Es difícil saber la superficie que se regaba de forma evidentemente eventual dentro del término municipal. En el borrador de ALBASINI (1980) se consignan 38 hectáreas en Castejón, de pozos y ríos varios, pero está tachado y se corrige a cero hectáreas. En este inventario no parece recogerse la superficie regada por la acequia de Jubierre. En ese momento, todavía no



Fig. 5. Azud y partidor (*las tajaderas*) del barranco de Ballesteros.



Fig. 6. Balsa nueva. Diciembre de 2017.

estaba transformada la actual comunidad de regantes de LASESA (Lastanosa, Sena y Sariñena), donde a partir de la década de 1980 se puso en riego el término de Castejón, situado al norte del Alcanadre.

EL AGUA SUBTERRÁNEA

Como ya se ha señalado, en la base de los rellenos de las vales, circulan aguas subterráneas, en acuíferos libres y someros, que se captan en pozos y manantiales. Son recursos muy modestos pero importantes por su continuidad en el tiempo y su relativa protección frente a la contaminación. En su contra, algunas de las aguas pueden acumular excesivas sales.

Los pozos

Un pozo tradicional es una excavación vertical realizada a mano hasta encontrar el nivel freático. Alcanzado este, se puede perforar algo en la zona saturada, con riesgo creciente sobre los trabajadores, siendo necesaria la consolidación de las paredes y la construcción de un brocal para evitar caídas de personas o animales. El descenso del freático, en fuertes sequías, puede permitir profundizar el pozo. El agua se extraía a mano mediante pozal y carrucha, laborioso trabajo cuando se trataba de abrevar a un rebaño numeroso.

Sin duda, el pozo más conocido en Castejón de Monegros es el denominado de *Los Ganaderos* (H30T. X: 0725374; Y: 4615475; Z: 527 metros).



Fig. 7. Pozo de Los Ganaderos (22 de diciembre de 2017) (izquierda); interior del pozo de Los Ganaderos (derecha).



Fig. 8. Pozo Romallal (izquierda); interior del pozo (22 de diciembre de 2017) (derecha).

Es rectangular, de $1,9 \times 1,5$ metros. El brocal tiene una altura de 0,75 metros. El pozo se encontraba seco en diciembre de 2017 y la profundidad total desde el borde del brocal es de 7,16 metros (fig. 7). Habitualmente está seco.

Un segundo pozo, denominado *del Romallal* (ETRS89. H30T. X: 727975; Y: 4612636), se encuentra en Valdezapata, 900 metros aguas arriba de La Madre. Es también un pozo rectangular, de $1,27 \times 2,18$ metros, revestido en sillares. El agua subterránea afloraba a 6,90 metros, prácticamente la profundidad del pozo, en diciembre de 2017. El pozo se encontraba en un edificio, hoy sin techo.

La Madre

Evidentemente, el manantial más importante de Castejón es La Madre, cuyas características han sido descritas en GISBERT y cols. (2017). A partir de este, hay una larga conducción, por supuesto muy costosa, y que Castejón se vio indudablemente obligado a realizar. Las preguntas son cuándo y por qué.

En el punto en que se encuentran los conocimientos actuales, la respuesta parece radicar en un interesante proceso que se encuentra en el Archivo de la Casa de Ganaderos de Zaragoza (ES/FCG – Caja 279_Ligamen 150_25). Es un proceso civil del procurador general de la Casa de Ganaderos de Zaragoza y Pedro Luis Laporta, ciudadano y ganadero de Zaragoza, contra los jurados y concejo de la villa de Castejón de Monegros, acerca de

que estos “reparen un abrevadero y no priven las posadas a los pastores zaragozanos”. Merece la pena transcribirlo parcialmente resumido.

21 de octubre de 1620. Zaragoza.

Ante don Lupercio Gerónimo de Contamina, justicia de ganaderos de la ciudad de Zaragoza, compareció Gerónimo Mipanas, notario causídico y ciudadano de Zaragoza, como procurador general sustituto de la Casa de Ganaderos y de Pedro Luis Laporta.

Y en dichos nombres dijo que teniendo en los montes blancos de la villa de Castejón de Monegros, en los cuales los ganados de los vecinos de Zaragoza, según los reales privilegios de ella, pueden pacer y andar libremente, un barranco en el cual, de agua viva o de recogerse del cielo, había agua competente para poder en ella beber los ganados que por dichos montes blancos pastoreasen, por parte del dicho lugar de Castejón han salido y a mano han cegado dicho barranco y agua que en él había, de tal manera que no pueden abrevar los ganados.

Y asimismo han impuesto a las personas que quieren dar posada y masar a los pastores zaragozanos otras imposiciones para el beneficio de dicha universidad, añadiendo el coste de las posadas a los dichos pastores zaragozanos. Todo contra fuero, justicia y razón y contra los reales privilegios, acto de corte y costumbre inmemorial de la presente ciudad y corte.

Se pide al justicia que mande reparar dichos daños y proceder contra el concejo de Castejón.

El justicia mandó intimar a los dichos jurados y concejo de Castejón de Monegros que dentro de tres días después de la íntima de esta provisión desenronen y manden desenronar y limpiar el dicho barranco y abrevadero, de tal manera que cómodamente puedan abrevar los ganados. Y asimismo que no permitan que a los posaderos y personas que quisieren masar y dar posada a los pastores zaragozanos se les impongan imposiciones ni a los dichos pastores se les haga pagar más por ello de lo acostumbrado.

Y si razones tienen relevantes, aquellas vengan a dar ante nos dentro el dicho tiempo de tres días.

Figura más adelante el documento de íntima al concejo de Castejón, realizado el 22 de octubre en la localidad monegrina, de lo ordenado el 21 por el justicia.

29 de octubre de 1620.

Ante el justicia Lupercio Gerónimo de Contamina comparecieron Diego Martel, ciudadano de Zaragoza, como procurador general de la Casa y

Capítulo de Ganaderos de Zaragoza, y Pedro Luis de Laporta, ciudadano y ganadero de Zaragoza.

Dijeron que se había intimado a los jurados y concejo de Castejón lo ordenado por el justicia el día 21.

Y alegaron que como los dichos intimados no hayan dado razones ni obedecido en reparar el abrevadero del agua viva de sus montes blancos siquiere manantial, que suplicaban y suplicaron se mandase enviar a reparar a costas de los intimados, y para ello enviar un comisario con un perito que lo haga.

29 de octubre de 1620. Juan Luis Pérez, procurador de la Casa de Ganaderos, presentó unas letras a Pedro Perales, oficial de la Casa, que se incluyen a continuación. El jurado de ganaderos Contamina las envía al concejo de Castejón de Monegros. En ellas dice que:

Estos días pasados, por parte del procurador general de la Casa y Capítulo de Ganaderos de Zaragoza y de Pedro Luis de Laporta, ciudadano y confadre y ganadero de esta ciudad, se querelló ante nos de que en los montes blancos de esa villa o lugar habían enronado un manantial que de agua viva hay y recogido el agua en una acequia onda, de tal manera que los ganados de los vecinos de esta ciudad que, iuxta los reales privilegios y costumbre inmemorial de esta ciudad han podido y pueden pacer en dichos montes blancos, quedaban imposibilitados de poder pacer por no tener abrevadero otro alguno en dichos términos sino el de dicha agua viva y fuente, y en él, estando como estaba, no podían ni pueden abrevar.

Sigue explicando que el 22 de octubre se habían intimado al concejo de Castejón sus letras. Y, ante su falta de respuesta, las partes personadas en el proceso le habían pedido que

nombrase un comisario para que fuese al barranco donde está el manantial y agua viva para que viese y reconociese aquel, en compañía de algún ganadero perito, y que no hallándolo suficiente ni de forma que los ganados puedan abrevar en él cómodamente, pongan a costa de nao un pedazo de él, sin impedimento del discurso del agua y manantial.

Les comunica que ha nombrado como comisario a Pedro Perales, uno de sus porteros, y a Arnáu Lesquián, ganadero y ligallero de la Casa de Ganaderos. Las letras están fechadas en Zaragoza el 29 de octubre de 1620.

30 de octubre. Castejón de Monegros. Pedro Perales, portero de la Casa de Ganaderos, comparece ante Mateo de Castellón, jurado mayor del concejo de Castejón. Perales “le hizo ostensión de su maza e insignia de oficial

real, requiriéndole le tuviese por tal y por comisario de dicha Corte y Casa de Ganaderos”. A continuación intimó las letras del justicia de ganaderos de 29 de octubre a Mateo de Castellón y Pedro Belenguer, jurados del concejo de Castejón.

31 de octubre de 1620. En los términos y montes blancos de Castejón de Monegros, hacia Zaragoza:

En un manantial de agua viva que hay como quien va de Zaragoza a dicha villa camino real, que nace debajo de una cruz de piedra que hay en dicho camino, y pasa dicho manantial por una acequia pequeña arrimado a una viña de Andrés Ferrer, labrador vecino de dicha villa, y a cosa de doscientos pasos poco más o menos debajo de do nace dicho manantial,

comparecieron Pedro Perales y Arnáu Lesquián, juntamente con el notario y los testigos.

Y en virtud de su comisión Perales, junto con Lesquián, vio y reconoció

dónde más convenía señalar un abrevadero para que en él pudiesen beber los ganados zaragozanos en una acequia por do discurre el agua que nace de dicho manantial, y en el puesto que le pareció más cómodo señaló cincuenta pasos para hacer dicho abrevadero a costa de nao, por ser la acequia muy estrecha y honda.

A continuación Diego Puymartón y Guillem Piedranaba, guardas de la Casa de Ganaderos, señalaron este abrevadero.

6 de noviembre de 1620. Ante el justicia Contamina comparece Juan Luis Pérez, notario causídico, como procurador general sustituto de la Casa de Ganaderos y de Pedro Luis de Laporta. Se ordena a Sebastián Ferrer, notario real, que traiga el proceso original por él actitado. El notario lo trae. Se titula “Proceso del procurador general de la Casa de Ganaderos de Zaragoza” (este proceso está incluido también, y ya se ha extractado, en sus fechas correspondientes).

El procurador Pérez pide que se mande haber relación de Arnáu Lesquián, ligallero perito nombrado y que ha ido con el comisario nombrado, si en el pedazo de acequia que han puesto a costa de nao y señalado por abrevadero en el manantial de Castejón de los Monegros, juxta lo proveído en este proceso, puede beber el ganado.

Y el justicia mandó a Arnáu Lesquián que hiciese relación de lo que sabía y había visto, el cual dijo que de ninguna manera pueden beber los ganados discurriendo el agua de dicho manantial por la dicha acequia, ni en

el pedazo que de aquel se ha designado a costa de nao, por ser el agua que discurre muy poca, ni yendo por allí se puede hacer abrevadero cómodo sin excesivos gastos.

Y que encaminando el agua por la mano izquierda del dicho manantial yendo hacia dicha villa (por un barranquizo por donde antes que los dichos de Castejón hiciesen la acequia por donde ahora dicha agua discurre) podrían los ganados abrevar con comodidad, y aunque dicha agua vaya y discurra por allí no estorbará el discurso de ella, porque también irá a parar adonde por dicha acequia va a parar de presente, lo cual se puede hacer con muy poco gasto.

Y luego el procurador pidió al justicia que mandase enviar de nuevo a hacer dicho abrevadero y volver dicho manantial en dicha forma que antes estaba. El justicia así lo ordena, enviando de nuevo a Perales y Lesquián.

En el proceso están incluidas también las letras del justicia de Ganaderos Contamina al concejo de Castejón, en las que se comunican estas últimas decisiones.

7 de noviembre de 1620. Elección y presentación de firma ante el justicia de Aragón (Martín Bautista de Lanuza, que ejerció entre 1691 y 1622).

Ante el justicia Lupericio Gerónimo de Contamina comparece Antonio Mateo de Latasa, notario causídico y ciudadano de Zaragoza, como procurador legítimo de los justicia, jurados, concejo y universidad, singulares personas, vecinos y habitantes de la villa de Castejón.

Dijo que a noticia de sus principales había llegado que se habían hecho ciertas provisiones y diligencias acerca de las pasturas y aguas de los montes dezmaríos, fuentes, manantiales, encañamientos, acequias y otros. Y que no consentía en ello. Y que sobre ello había hecho elección de firma de greuges en la corte del Justicia de Aragón. Presenta unas letras originales de firma emanadas de dicha corte, de fecha 27 de octubre de 1620.

4 de febrero de 1621. Zaragoza. Ante Gerónimo de Abenia, lugarteniente del justicia, comparece Cristóbal Ruberto, notario causídico de Zaragoza, como procurador del concejo de Castejón. (Están también incluidos, en varias páginas, el nombramiento de Latasa del año 1617, como procurador del concejo de Castejón, y la elección de firma en la corte del justicia de Aragón).

El pleito se trasladó a otra instancia y ya no figura en el documento citado. Las referencias, “acequia enronada, muy estrecha y onda, camino de Zaragoza”, parecen coincidir con las características de La Madre y su conducción en galería, en gran parte, pero no toda, enterrada. Así, la construcción debió de realizarse en el verano de 1620, en la línea de lo señalado por BENITO

(2004a y b), y los pastores se dan cuenta en su retorno a los pastos de invierno durante el otoño de 1620. Es un momento particularmente duro en el Alto Aragón, con un periodo largo de sequía. DIEGO DE AYNESA (1619) cita una serie de actos religiosos en Huesca por las sequías de 1609 y 1610; Ramón de Huesca, en INGLADA (1984: 68), refiere una terrible sequía de 1614-1615 con moja de san Úrbez; SALAS (1989: 196) confirma el incremento de la mortalidad en esos años que son recordados por Diego José de Dormer; el padre HUESCA (2010 [1796]: 364) señala que en 1614 hubo mucha hambre en todo el reino y que en 1615 murieron en Huesca 1609 personas en nueve meses; LATORRE (1989) confirma la sequía de 1614 y cita una peste al año siguiente a partir de la producción agraria. En el listado de catástrofes de SATUÉ (1991: 135) se recoge que en 1610 hubo una peregrinación de los pueblos del norte de las Cinco Villas a santa Orosia en Jaca, mientras que en 1621 se juntaron 5000 romeros y 125 cruces en San Úrbez de Nocito. Otros trabajos indican que la sequía afectó a amplias zonas del mediterráneo español. Así, FELIPO (1985) reseña una serie de sequias en Castellón en 1614, 1616, 1619, 1622, 1625, 1627, 1628 y 1631.

Pastoreo y sequía han sido siempre una mala combinación y han dado lugar a numerosos conflictos entre nómadas y sedentarios en disputa por los puntos de aguada. En el territorio de Castejón, donde las balsas debieron de secarse, la acequia entre el manantial de La Madre y el núcleo urbano debía de constituir un foco irresistible para los sedientos rebaños con efectos evidentes sobre la calidad de las aguas. Es de suponer la existencia de normativas estrictas sobre las entradas de ganados en la acequia, pero es sabido que las ovejas son seres testarudos, y ni escuchan ni saben leer. La solución, cara pero expeditiva, era enterrar la fuente y la conducción. Posiblemente y una vez más, un acontecimiento extremo debió de precipitar una decisión, quizás largamente debatida. Parece que se hizo rápido, sugiriendo que esperaban una reacción contraria por parte de la Casa de Ganaderos. Además, probablemente a modo de impuesto indirecto, parece que intentaban sufragar parte del pago incrementando los precios a los servicios, pan y habitación, de los pastores. El viejo recurso a los impuestos indirectos de consumo.

No sabemos cómo finalizó el pleito. Pero hay que señalar que hoy el único abrevadero conocido relacionado con La Madre, se encuentra junto a la fuente del núcleo urbano.

AGUA SEGURA, PERO LEJANA: JUBIERRE EN EL ALCANADRE

La alternativa última, siguiendo la famosa frase de Mahoma y su montaña, era ir a buscar el agua del río más cercano: el Alcanadre. En 1419, la compra de Jubierre llevó el término municipal de Castejón de Monegros hasta el Alcanadre y más allá, dándole acceso a una importante fuente de agua para abastecimiento, abrevado de ovejas, riego y energía molinar. Esta agua estaba a 14 kilómetros, a unas tres horas y media, desde Castejón en carro, y debiendo salvar un impresionante gradón de 200 metros de desnivel. El acceso al agua supuso, sin embargo, la vecindad con el poderoso monasterio femenino de Sigena, de la Ínclita, Sagrada y Militar Orden de San Juan Bautista de Jerusalén, también conocida como Orden de los Caballeros de Malta y antes de Rodas. Las monjas eran señoras del monte de Cajicorva, lindante con el Alcanadre, Jubierre y la partida de las Almunias de Sariñena. Por último, hay que tener en cuenta que el Alcanadre tenía importantes avenidas que modificaban el cauce y arrasaban huertas y, sobre todo, destruían azudes, cuyo mantenimiento era fundamental para el buen funcionamiento de las acequias y de los molinos.

La primera referencia a una acequia en Jubierre aparece en 1215 en un documento de compraventa (ES/AHPHU-S-000004/000003) donde parece interpretarse la reciente construcción de una conducción. En 1426, ya hay un acuerdo entre los concejos de Castejón de Monegros y de Sena y el monasterio de Sigena, por el que se aprueban los capítulos y las ordenanzas insertos para el aprovechamiento del agua de la acequia de la Ribera, “vulgarmente llamada de Juvierre” (ES/AHPHU-S-000029/000003). El problema es que se denomina *Jubierre* a ambos lados del río. En ambas orillas había canal, el de la orilla derecha salía a terrenos de Sigena y el de la orilla izquierda a terrenos de Castejón. Todo hace pensar que esta acequia de la ribera sea la de la orilla izquierda.

En una guarda en pergamino de un documento aparece un esquema, probablemente del siglo XVI, en el que se señalan los molinos de Albalatillo y Jubierre. El azud del segundo se encuentra bajo la confluencia del Alcanadre y de la Ysuela, nombre histórico del actual Flumen (ES/AHPHU-12032/2). En la parte exterior de la guarda figura el apellido Sangorrín y la fecha de 1575, que posiblemente posdataría al plano. En este esquema solo se incluye una acequia de Jubierre por la orilla derecha.

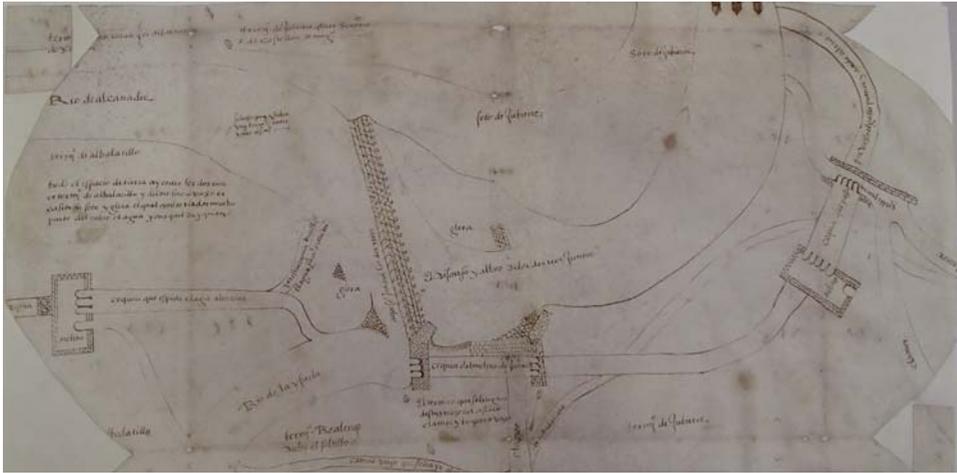


Fig. 9. Esquema del azud y de los molinos en la zona de Jubierre.

En 1616 se firma un acuerdo, a treudo, de una serie de tierras de Sigena a cambio de rehacer el azud y la acequia (BUIL y cols., 2011). Posiblemente el interés era servir al molino, dada la necesidad de moler el trigo para hacer harina, algo que, hasta inicios del siglo XX, solo se podía lograr mediante molinos de viento o hidráulicos. En el cercano Bujaraloz recuerdan la existencia de molinos de viento, pero en el Alto Aragón, como se ve claramente en PALLARUELO (1994), se preferían los fluviales. Castejón e incluso La Almolda se servían del de Jubierre. Y este molino fue causa de conflicto entre Castejón de Monegros y el monasterio de Sigena.

El caso es que el 22 de octubre de 1717 Francisco Ondeano, en nombre de la priora María Josepha de Ayerbe, presenta un escrito (AHPZ-J/012059/000005). Dice que los de Castejón, para llevar agua del Alcanadre a un molino, han hecho una estacada de sesenta pasos y han pasado por el monte de las monjas. Pide que lo demuelan todo y a costa de los primeros. Se nombra procuradores a Antonio Urrea, Francisco Ondeano y Antonio del Molino; testigos, al licenciado Joseph García, ordinario de la parroquial iglesia del monasterio, y a Juan Urriés, racionero de la iglesia, residente en el monasterio. Y firma el notario Joseph Regales, domiciliado en Alcolea de Cinca.

El 8 de septiembre Joseph Gómez, en nombre del Ayuntamiento y villa de Castejón, solicita que se le entreguen los autos que se le han comunicado

por oficio de don Joseph Manuel de Lope y Christóbal de Villarreal para poder alegar. Y lo hace diciendo que el azud está en término propio para el molino

arinero y riego de cierta porción de tierras. [...] Y porque, en esa razón experimentando que con distintas calzadas de incas, rama, arena y piedras llamada vulgarmente glera se le ha pretendido a mi parte desviar la corriente del río de su azud, y açequia mi parte ha podido precaver el daño a fin solo e mantener la corriente del río sin novedad ni mudación de cauce.

Dice que la otra parte no presenta documentación al respecto. Los regidores de Castellón de Monegros, en este momento, son Joseph Anoro y Calvo, Salvador Aynosa, Beturián Berroy y Francisco Jarisuelo.

El problema de fondo, además de pasar por tierras del monasterio, es la competencia que el molino de Jubierre hace al molino de Albalatillo, en el que tienen intereses el monasterio de Sigena y el Hospital Real y General de Nuestra Señora de Gracia de Zaragoza. Este último parecía pasar por serias dificultades económicas a principios del siglo XVIII, entre otras cosas porque Zaragoza acogía a numerosos pobres por la calidad de su asistencia benéfica e incluso por convertir la asociada Real Casa de Misericordia en cárcel de mujeres gitanas (GÓMEZ URDÁÑEZ, 2004).

El pleito es largo y merece un estudio más detallado. De forma resumida, inicialmente es Feliciano Bracamonte Rodríguez de las Barillas, mariscal de campo, gobernador de Aragón, quien ordena dar conocimiento a Castejón. Parece que no hay respuesta. Vuelve a reclamar el monasterio señalando que Castejón ha recibido notificación el 15 de diciembre de 1717 y no ha respondido ni el 23 de marzo de 1718 ni el 29 de abril de 1719. En 1726, en nombre de los regidores del Hospital y de Sigena, siendo Manuela de Sesse priora, Ondeana afirma que el pleito está “sobreseído algunos años hace”, que quieren proseguir y que se cite por retardado al Ayuntamiento de Castejón. Comparece Joseph Gómez, que tiene un poder de Castejón sobre un pleito con la villa de Biescas y otros lugares sobre pastos y tránsitos de ganados, indicando que si se han retardado es para alegar más en forma. Hay informes detallados de escribanos que van de Zaragoza a Castejón, que pernoctan en Monegrillo. Pero las cosas se complican para Castejón. Su abogado renuncia por impago. Se oficia sobre nuevas obras en el azud y se repiten los requerimientos, esta vez con Alejandro de Cecile, capitán general y

presidente de la Audiencia. El 25 de junio de 1731, se ordena la demolición. Hay actas notariales de Joseph Mirallas, notario de Sariñena, en las que se reconocen el azud y la acequia. El último documento de este legajo es una conminación a la ejecución bajo pena de 50 escudos.

El asunto debió de prolongarse porque en 1780 hay un testimonio de protesta del monasterio al arrendador del molino de Jubierre (ES/AHAP-HU-F-000008/000013). En ella, el notario Lorenzo Nogueras, de Barbastro, llamado por Francisco Pérez, de Sena, como procurador del monasterio, junto con Gerónimo Barráu, vecino de Sena y alcalde de Cajicorva, encuentra obreros de Castejón, Villanueva de Sigena y Albalatillo reparando el azud del molino de Jubierre, por orden de su arrendador Francisco Trilla, haciendo caballetes en el azud y acarreando maderas, leña y piedras de los montes de Castejón. Reconocen que están en el monte de Cajicorva propiedad del monasterio, donde todavía existe el topónimo de la *paridera de las monjas*. El notario los intima a que cesen las obras y levanta acta el 18 de agosto de 1780, figurando como testigos Joseph Casaña, de Albalatillo, y Vicente Carbonel, de Villanueva de Sigena. Probablemente el asunto se fue dilatando. Y el problema se complicaba por las derivas del cauce del río

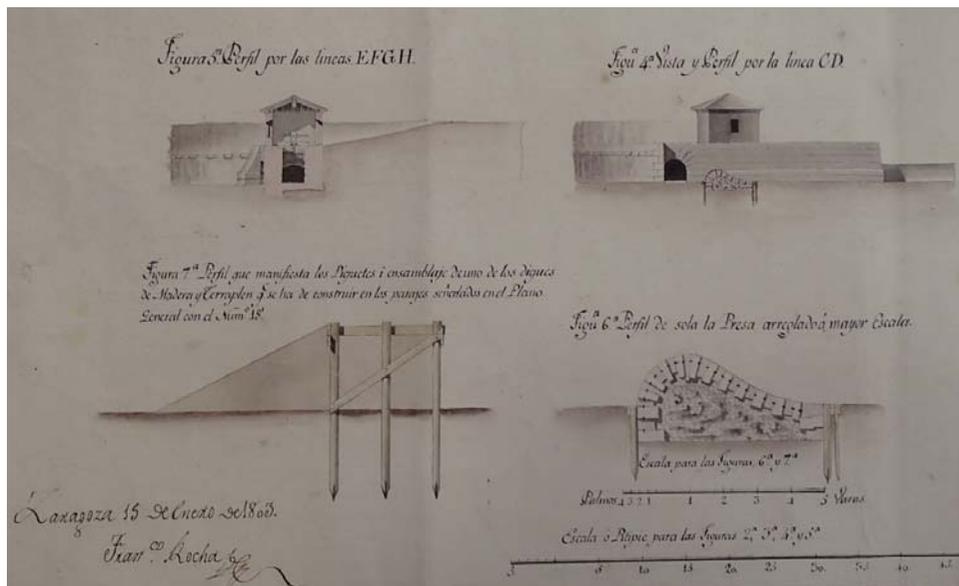


Fig. 10. Detalle del plano de 1803.

durante las avenidas, que afectaban al azud e incluso arrasaban la conducción y las huertas. Así, en 1803, por orden del Real Acuerdo, a petición del monasterio, Francisco Rocha levantó un plano precioso, en el que se planteaba la construcción de un nuevo azud con piedra para servir a la acequia de la orilla izquierda hacia Sena, que incluía un desvío del río por la ribera opuesta (ES/AHPHU-S-000058/0000119). Un detalle se presenta en la figura 10. Sin saber si se construyó, en la actualidad hay un azud que sirve a esta acequia, pero se observan trazados abandonados de acequia aguas arriba. Desde luego, el tema de las acequias de Jubierre, por ambos lados, como el del resto de los sistemas tradicionales de riego del Alcanadre, merece un estudio detallado.

Acabaran como acabasen los juicios, pasada la guerra de la Independencia y la desamortización de 1835, hacia 1920 aún se molía en Jubierre. Se afirma que el azud fue destruido por una avenida durante la última guerra civil. En la fotografía aérea de 1946 todavía se pueden observar restos de azud (fig. 11).

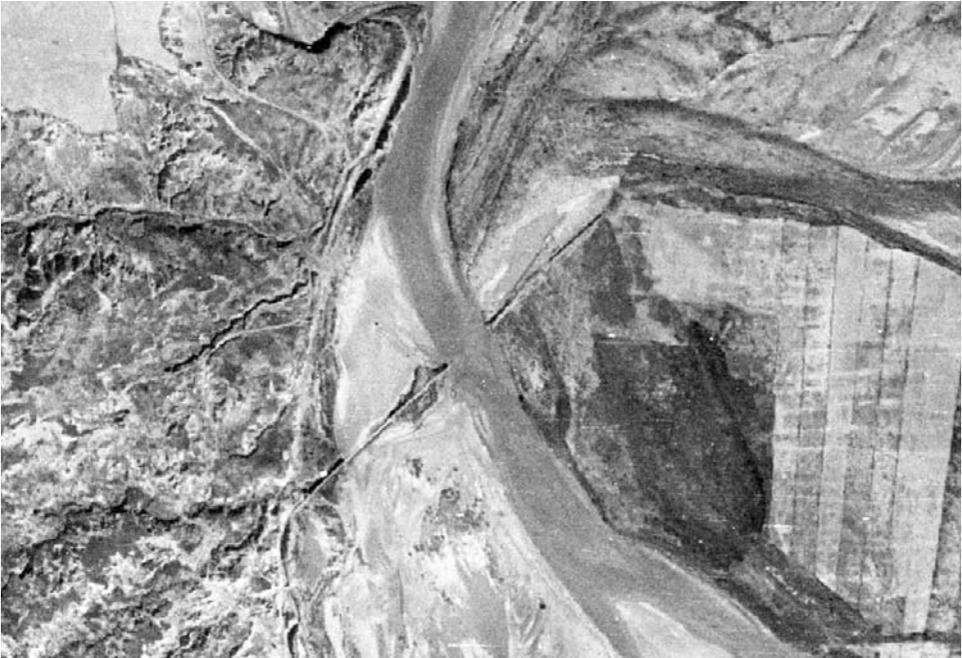


Fig. 11. Posible azud de la acequia izquierda de Jubierre en 1946.
(CNIG-IGN, Vuelo Americano Serie B)

El terreno regable por la acequia izquierda de Jubierre pasó en un momento hoy desconocido, tal vez con la desamortización de Madoz, a la familia Buil, que da nombre a una finca de 14 hectáreas que incluye la zona regable. No se recuerda que hubiera allí huertos vecinales.

A MODO DE CONCLUSIÓN

La gestión histórica del agua en la semiárida zona monegrina, en este artículo centrada en Castejón de Monegros, pone de manifiesto la capacidad de la población local para adaptarse a un medio que podía ser muy duro, en especial durante las fuertes sequías, y en buscar soluciones a sus problemas, en muchos casos a través de conflictos variados.

AGRADECIMIENTOS

Destacamos la amabilidad de Ana María Puey, alcaldesa de Castejón de Monegros, y la sabiduría de José Puey Ezquerro, de la misma localidad. Agradecemos la excelencia profesional de A. Serrano, del Archivo de la Casa de Ganaderos de Zaragoza; de A. Oliva, E. Puyol y S. Navarro, de la biblioteca del IEA; E. Escar, A. Oliva, R. Serrano, N. Hijós, I. Arner, L. Blanco y M.^a A. Escar, de la biblioteca de la Escuela Politécnica Superior de Huesca; M. Alfranca, L. F. Jaime, A. B. Justes, J. M. Tierz y el resto del personal del Archivo Histórico Provincial de Huesca. Asimismo, han sido de gran utilidad los comentarios de los doctores Joaquín Ascaso y Ramón Reiné sobre los pastos monegrinos para entender la perspectiva de los pastores trashumantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBASINI, C. (1980). *Provincia de Huesca. Inventario de regadíos a fecha 30 de septiembre de 79*. Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. Madrid. Informe inédito. 10 pp.
- AYNSA, F. D. de (1619). *Fundación, excelencias y cosas memorables de la antiquísima ciudad de Huesca*. Imprenta de Pedro Cabarte. Huesca. [20], 660, [16] pp.
- BARRANTES, O., R. REINÉ, J. ASCASO, A. MENDOZA, A. BROCA y C. FERRER (2004a). Pastos arbustivos y pastizales del tipo lasto-timo-aliagar de la depresión del Ebro en la

- provincia de Huesca. Tipificación, cartografía y valoración. En B. García Criado, A. García Ciudad, B. R. Vázquez e I. Zabalgoeazca (eds.), *Pastos y ganadería extensiva*: 601-606. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Salamanca.
- BARRANTES, O., R. REINÉ, J. ASCASO, A. MENDOZA, A. BROCA y C. FERRER (2004b). Pastizales (albardinales) y pastos arbustivos xerófilos (sisallares) de la depresión del Ebro en la provincia de Huesca. Tipificación, cartografía y valoración. En B. García Criado, A. García Ciudad, B. R. Vázquez e I. Zabalgoeazca (eds.), *Pastos y ganadería extensiva*: 607-611. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Salamanca.
- BARRANTES, O., R. REINÉ, J. ASCASO, A. MENDOZA, A. BROCA y C. FERRER (2004c). Pastos arbustivos gipsófilos y halófilos de la depresión del Ebro en la provincia de Huesca. Tipificación, cartografía y valoración. En B. García Criado, A. García Ciudad, B. R. Vázquez e I. Zabalgoeazca (eds.), *Pastos y ganadería extensiva*: 613-618. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Salamanca.
- BARRANTES, O., R. REINÉ, A. BROCA, S. GONZALO, J. ASCASO y C. FERRER (2005). Tipificación de los pastos de monte en Aragón. En B. de la Roza, A. Argamentería, A. Martínez y K. Osoro (eds.), *Producciones agroganaderas: gestión eficiente y conservación del medio natural*: 771-775. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Salamanca. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario de Asturias. Gijón.
- BECKERS, B., J. BERKING y B. SCHÜTT (2013). Ancient water harvesting methods in the drylands of the Mediterranean and Western Asia. *eTopoi. Journal for Ancient Studies*, 2: 145-164.
- BENITO, M. (2004a). La fuente de Castejón de Monegros: Una fábrica de Agua (1). *Diario del Alto Aragón*, 13 de junio de 2004.
- BENITO, M. (2004b). La fuente de Castejón de Monegros: Una fábrica de Agua (2). *Diario del Alto Aragón*, 27 de junio de 2004.
- BRAUN-BLANQUET, J., y O. DE BOLÒS (1987). *Las comunidades vegetales de la depresión del Ebro y su dinamismo*. Ayuntamiento de Zaragoza. Zaragoza. 278 pp., 48 tablas.
- BUIL, J. J., M.^a B. ZABALZA e I. ICART (2011). *Castejón de Monegros. Territorio, patrimonio, historia*. Ayuntamiento de Castejón de Monegros. Castejón de Monegros. 137 pp.
- CASTÁN, A. (2004). *Torres y castillos del Alto Aragón*. Diario del Alto Aragón. Huesca.
- CREUS, J. (1998). El clima de los Monegros. En C. Pedrocchi (ed.), *Ecología de los Monegros*: 55-66. IEA / Centro de Estudios de los Monegros. Huesca.
- CREUS, J., Á. FERNÁNDEZ y E. MANRIQUE (1996). Evolución de la temperatura y precipitación anuales desde el año 1400 en el sector central de la depresión del Ebro. *Lucas Mallada*, 8: 9-28.
- CUADRAT, J. M.^a (2012). Reconstrucción de los episodios de sequía en el nordeste de España a partir de las ceremonias de rogativas. *Nimbus*, 29-30: 177-187.
- CUCHÍ, J. A. (1986). *Aportaciones al conocimiento de los suelos salinos de Aragón*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación / INIA (Tesis doctorales INIA, 79). Madrid. 400 pp.

- CUCHÍ, J. A. (1989). *Aportaciones al conocimiento de los suelos salinos de Aragón*. INIA (Serie monográfica de tesis doctorales del INIA, 79). Madrid. 400 pp.
- CUCHÍ, J. A., P. MARTÍN RAMOS y J. A. RAUSA (2018). Captación de aguas superficiales temporales en zonas semiáridas monegrinas: el azud y partidador de Valdezaragoza (Lanaja). *Anales de la Fundación Joaquín Costa*, 30: 21-38.
- EVENARI, M., L. SHANAN y N. H. TADMOR (1968). Runoff farming in the desert. I. Experimental layout. *Agronomy Journal*, 60 (1): 29-32.
- EVENARI, M., L. SHANAN y N. H. TADMOR. (1982). *The Negev: the challenge of a desert*. Harvard UP. Cambridge (Mass.). 437 pp.
- FELIPO, A. (1985). Producción y consumo de vino en el País Valenciano durante el siglo XVII: los manifiestos de 1627-1631. *Saitabi*, 35: 127-150.
- GISBERT, M., M. PASTOR, J. L. VILLARROEL, J. A. RAUSA y J. A. CUCHÍ (2017). La Madre de Castejón de Monegros. *Lucas Mallada*, 19: 165-184.
- GÓMEZ URDÁÑEZ, J. L. (2004). La Real Casa de Misericordia de Zaragoza, cárcel de gitanas (1752-1763). En M.^a Á. Sobaler y M. García (coords.), *Estudios en homenaje al profesor Teófanos Egido*: vol. 1, 329-343. Junta de Castilla y León. Valladolid.
- GUITART, C. (1979). *Castillos de Aragón, 1: desde el siglo IX al segundo cuarto del XIII*. Librería General. Zaragoza. 191 pp.
- HUESCA, R. de (2010 [1796]). *Teatro histórico de las Iglesias del Reino de Aragón, t. VI: Estado moderno de la Santa Iglesia de Huesca*. IEA (Colección Rememoranzas, 11). Huesca. VIII + 614 pp.
- INGLADA, J. (1984). El intervencionismo municipal ante las crisis de subsistencias y epidémicas del siglo XVII, según las "Cartas misivas" de la ciudad de Huesca. *Argensola*, 97: 57-98.
- LATORRE, J. M.^a (1989). La producción agraria en el obispado de Huesca (siglos XVI-XVII). *Revista de Historia Jerónimo Zurita*, 59-60: 121-171.
- MADOZ, P. (1985 [1845-1850]). *Diccionario Geográfico-Estadístico-Histórico de España y sus posesiones de ultramar. Provincia de Huesca*. P. Madoz. Madrid. Ed. facsímil: Ámbito Ediciones / DGA. Valladolid. 335 pp.
- OWEIS, T., D. PRINZ y A. HACHUM (2001). *Water harvesting: indigenous knowledge for the future of the drier environments*. ICARDA. Alepo. 41 pp.
- OWEIS, T., A. HACHUM y A. BRUGGEMAN (2004). *Indigenous water-harvesting systems in West Asia and North Africa*. ICARDA. Alepo. 173 pp.
- PALLARUELO, S. (1984). *Los molinos del Alto Aragón*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 39). Huesca. 310 pp.
- PEDROCCHI, C. (1998). *Ecología de Los Monegros: la paciencia como estrategia de supervivencia*. IEA / Centro de Desarrollo de Monegros. Huesca. 430 pp.

- RAUSA, J. A., J. L. VILLARROEL y J. A. CUCHÍ (2016). La fuente del Milagro (cartuja de las Fuentes, Sariñena). *Lucas Mallada*, 18: 31-45.
- REINÉ, R., O. BARRANTES, J. ASCASO, A. MENDOZA, A. BROCA y C. FERRER (2004). Pastos arbustivos de coscojar en la provincia de Huesca. Tipificación, cartografía y valoración. En B. García Criado, A. García Ciudad, B. R. Vázquez e I. Zabalgogezca (eds.), *Pastos y ganadería extensiva*: 619-624. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Salamanca.
- SALAS, J. A. (1989). La población aragonesa en la Edad Moderna (siglos XVI-XVII). En VV. AA., *Historia de Aragón. I. Generalidades*: 189-198. IFC. Zaragoza.
- SATUÉ, E. (1991). *Religiosidad popular y romerías en el Pirineo*. IEA. Huesca. 308 pp.

LAS MINAS DE COBRE EN LABATA (HUESCA)

Pablo MARTÍN-RAMOS¹ | José Antonio CUCHÍ¹ |
José Luis VILLARROEL² | Francisco BESCÓS³

RESUMEN.— Este artículo estudia las minas de cobre del término municipal de Labata y analiza un pequeño artefacto, un disco de cobre encontrado en el interior del tapial de un muro de esta localidad.

ABSTRACT.— The present work studies the copper mines in the municipality of Labata and analyzes a small artifact, a copper disk found inside an earth wall in this town.

KEY WORDS.— Cooper, mine, Labata (Spain).

INTRODUCCIÓN

En el frente del Prepirineo aragonés es conocida la presencia de mineralizaciones de cobre, básicamente malaquita y azurita, desde Sos del Rey Católico hasta Labata. Se considera que el yacimiento más importante se encuentra en Biel, donde incluso se puede hallar cobre nativo en los aluviones. Esta mina, que se explotó a cielo abierto hasta

Recepción del original: 27-9-2018

¹ 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, pmr@unizar.es

² Instituto Universitario de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A). Edificio I+D+i. Universidad de Zaragoza. C/ Mariano Esquillor, s/n. E-50018 ZARAGOZA. jlvilla@unizar.es

³ C/ Mayor. E-22142 PANZANO. pacobescosclaver@gmail.com

1960, fue estudiada, entre otros autores, por GIMENO CUNCHILLOS (1918) y SUBÍAS y cols. (1989).

Además, hubo minas menores en otras ubicaciones como en Monzorrobal, en las cercanías de Ayerbe (GILLOT y cols., 2012). En IGME (1974) y CUCHÍ y VILLARROEL (2017), se citan otras localidades donde se han explotado minas de cobre. Su historia es compleja y no todas han sido localizadas adecuadamente: algunas parece que existieron solo a nivel administrativo y, en otros casos, las labores antiguas son difícilmente reconocibles.

Es conocido el destino de una parte del metal obtenido. LASTANOSA (1645) recoge hallazgos de monedas de bronce y cobre cercanos a Huesca. BELTRÁN (1950) y DOMÍNGUEZ (1978) informan sobre la presencia de monedas de bronce de Bolskan, además de las acuñadas en plata. Al margen de diversos debates, es evidente que si se acuñaron en Bolskan / Osca se necesitaba el oportuno mineral base. CUCHÍ (1995) informa sobre minería medieval de este mineral en los entornos de Huesca, y presenta la topografía de una de las minas de Lienas – Sagarillo – Santolarieta. Esta última es también mencionada por PALLARUELO (1994). BLÁZQUEZ y SANCHO (1999: 70) dan alguna información sobre el complejo industrial e indican que se realizó con modelos del siglo XVI, tuvo su auge en el XVIII y fue arrasado por una avenida en el siglo XIX. NIETO (1996: 473) cita que dos pequeñas fundiciones de cobre en Anzánigo y La Almunia del Romeral estaban inactivas a finales del siglo XVIII. Desde luego, sorprenden las ruinas del tejar, las prensas, los molinos hidráulicos y el martinete de esta última localidad. Merecen un estudio detallado.

Por lo que respecta a la minería, en el Alto Aragón, una provincia en la que ya Lucas Mallada reseñaba su poco interés, pueden señalarse dos momentos de actividad en el siglo XX: uno fue antes y durante la Primera Guerra Mundial; el otro, en la posguerra, con la demanda de la Segunda Guerra Mundial y la posterior fase autárquica del régimen del general Franco. De cualquier modo, las labores en las minas de cobre del somontano son muy modestas. Las más antiguas son galerías, pero en algunos casos (Lienas, Sierra Estronad y Casas de Esper) hubo una fase de excavación a cielo abierto, realizada hacia 1960, de la que aún hay recuerdo oral. En bastantes expedientes administrativos, hoy en el Archivo Histórico Provincial de Huesca,

se intuyen maniobras especulativas para acaparar concesiones con la búsqueda de inversores foráneos.

Este artículo se centra en Labata, donde se describe, junto con Biel y Sagarillo, la existencia de un importante foco minero de cobre en el somontano prepirenaico. Además, se ha analizado un modesto artefacto de cobre localizado dentro de un muro de tapial de esta localidad.

LAS MINAS DE LABATA

Hay noticia de varias explotaciones de cobre en el antiguo término de Labata. Citadas por MALLADA (1878), tuvieron alguna actividad, probablemente más administrativa que real, en los años previos a la Primera Guerra Mundial, especialmente de la mano de Luciano Labastida (*El Diario de Huesca*, 30 de agosto de 1906, 4 de enero de 1912 y 6 de julio de 1928). Es interesante que, en el recuerdo de uno de los personajes interesantes de esta localidad, Marica, la bruja, se mencione la presencia de ingenieros franceses en Labata en la Nochevieja de 1911 (FONCILLAS, 1975). Tras la Guerra Civil, las minas se reactivaron temporalmente hasta la apertura de la economía española al exterior.

Documentación administrativa

La documentación administrativa, generada a partir de la oportuna legislación minera por el Distrito Minero de Zaragoza, ofrece información complementaria sobre la actividad de las minas de Labata en la primera mitad del siglo xx.

El 24 de marzo de 1907 el oscense Luciano Labastida Oliván solicita el registro de la mina de cobre Lucero, de 25 pertenencias mineras, en el término de Las Carboneras. Se realiza acta de reconocimiento y demarcación, señalando un antiguo pozo de 1,25 × 2,5 metros de anchura y 3 metros de profundidad. El 7 de julio de 1908 se declara caducada por impago de derechos. En el mismo día de marzo de 1907 Labastida también solicita el registro de la mina La Estrella, de 49 pertenencias, demarcadas a partir de una antigua galería de mina. Esta vez sí se pagó el canon.

El 13 de mayo de 1919 el abogado oscense Patricio Abbad Rebollo solicita la mina de La Esperanza, de hierro, en la misma ubicación de mina Lucero, en el barranco de Salzar. Renuncia el 22 de septiembre del mismo año. El mismo día, Ignacio Fernández López, de Madrid, solicita la mina Amparo en Laguniés. Es demarcada a partir de una cruz en el camino de Labata a Yaso por el ingeniero José Romero Ortiz, en presencia de Ramón Lóriz, alcalde de Labata, Ramón Buil y, nada sorprendentemente, Luciano Labastida. Se señala la presencia de arenisca manchada por cobre. El 22 de noviembre de 1922 Fernando Arrese y Begoña, de Bilbao, solicitan la mina de hierro Rita Alberdi, con 50 pertenencias. Se demarca el 10 de julio del siguiente año, siendo testigos Antonio Lafarga Giménez, de Labata, y Javier Lacasa, de Huesca. En la documentación se menciona la existencia de un plano inclinado y un pozo situado a unos 100 metros al norte-noreste del anterior. El mismo interesado solicita la inscripción de 100 pertenencias en Segunda Rita Alberdi, el 14 de noviembre de 1923, rodeando la concesión anterior. El 28 de julio de 1924 Arrese solicita el traspaso de sus derechos a favor de Rita Alberdi Alberdi, vecina de San Sebastián. Con fecha de 28 de septiembre Luciano Labastida presenta un escrito en el que indica que es socio de Arrese, en escritura de Mariano López Torrente, con el 15% de los beneficios de esta mina. Pide que se mantengan sus derechos ante la compraventa citada. La jefatura de minas y el abogado del Estado informan de que esto es un asunto privado e indican que se debiera inscribir también a Labastida como peticionario y que, además, se paguen los derechos reales de la compraventa de Arrese a Alberdi. En consecuencia, el gobernador civil suspende temporalmente la expedición del título. Al final, hay una serie de acuerdos notariales entre Arrese, Labastida y Alberdi, de esta última a través de su marido, Vicente Irigoyen Landa. El 24 de septiembre de 1925 el Gobierno Civil otorga la propiedad a perpetuidad, mientras se satisfaga el canon. El 31 de octubre de 1947 el delegado de Hacienda anota la caducidad de ambas explotaciones por impago del canon de 1945. Al mismo tiempo, el 30 de abril de 1925 Higinio Soler Guardiola, de Torrente de Cinca, una vez más representado por Labastida, solicita 45 pertenencias para la mina de La Esperanza con inicio en el cruce de caminos entre el camino del Molino de Labata y el de la partida de La Puebla. Renuncia el 15 de mayo del año siguiente.

El 5 de noviembre de 1952 Francisco Javier Martín Cereceda y Manuel Gutiérrez Remón, de Madrid, solicitaron 150 pertenencias en Labata para actividades de investigación, básicamente unas catas, con un presupuesto de 30 000 pesetas. La demarcación se hizo el 21 de diciembre de 1953, con punto de referencia en la “esquina norte de un pozo inclinado que fue punto de la caducada mina Alberdi n.º 1240”. La Dirección General de Minas otorga la concesión en mayo de 1954. Se informa también de que son concesionarios del Coto Biel, pero que hay una providencia sobre exhortos de varios juzgados de Zaragoza contra los solicitantes sobre los que pesan embargos. El 9 de mayo de 1959 se autoriza la concesión de permiso de investigación en Labata a Explotaciones Mineras Aragonesas (EMARSA), con sede en Zaragoza y cuyo representante era José María Fatás Lardiés. El permiso se cancela el 7 de mayo de 1960. VALLÉS (2002) confirma que esta empresa, filial de otra catalana, dentro de un programa de subvenciones, realizó algún estudio. Paralelamente, el 20 de octubre de 1956, Julián Dorao



Fig. 1. Mineralización de cobre en Labata
(ETRS89. H30T. X: 734641; Y: 4675381; Z: 608 msnm).

y Díez Montero, con domicilio en la finca de La Virreina (Málaga), solicita 1500 pertenencias para la mina San Julián, en los términos de los ríos Calcón y Formiga. Renunció el 9 de enero de 1958. Este empresario también investigó minas en Casas de Esper.

Mineral de cobre en Labata

Las características de las mineralizaciones en el Prepirineo y su génesis han sido estudiadas por SUBÍAS y cols. (1989 y 2003).

La presencia de mineral de cobre en Labata es evidente en algunos puntos, por ejemplo, al este del río Calcón, junto a la pista que lleva a Balderas y Panzano (fig. 1). El mineral aparece en estratos con un claro buzamiento, que se atribuyen normalmente a la formación Peraltilla, del Oligoceno. En el punto señalado, la mineralización presenta un color verdoso y aparece como un microconglomerado en la base de un estrato de



Fig. 2. Boca principal de la mina de cobre en Laguniés (Labata).

arenisca de color gris azulado, que contrasta con el pardo de la mayor parte de la serie.

Las minas de cobre de Labata

A partir del gran conocimiento del territorio de Francisco Bescós, se han visitado dos minas de cobre en Labata y Bastarás.

La más importante se sitúa en la zona de Laguniés (H30T. X: 735465; Y: 4675117; Z: 600 msnm). Se trata de tres bocas que se explotaron hasta 1960. La principal es una rampa inclinada hacia el oeste. A unos 20 metros de profundidad se excavó una sala y desde su centro continuaba en rampa la galería hasta los 90 metros. En la ampliación mencionada, se guardaban los compresores y otras herramientas. En 2018, después de una larga sequía y antes de las lluvias de primavera, se encontraba inundada a pocos metros de la entrada (fig. 2). No se han encontrado restos de escombrera con mineral en las inmediaciones. Hay otras dos catas cercanas (figs. 2 y 3a y b). No profundizaban prácticamente y hoy se reconocen con dificultad como labores mineras. No se observan restos de entibaciones de madera en la boca principal.

En las inmediaciones del río Formiga se conocía la existencia de otra mina en las cercanías del Gorgonchón, estrecho muy conocido por los



Figs. 3a y 3b. Bocas secundarias de las minas de cobre en Laguniés (Labata).



Fig. 4. Posición de la mina a orillas del río Formiga, desde el camino a las ruinas de Marmañana.



Fig. 5. Vista de la presa desde la bocamina.



Fig. 6. Aspecto de la bocamina.

barranquistas en el río Formiga, y bajo los restos del castillo medieval de Marmañana. La boca se localizaba aguas abajo de la pequeña presa construida hacia 1939 por [el señor] Altaoja, de Yaso, para una central que proporcionaba algo de energía eléctrica a Panzano y Yaso.

En septiembre de 2018 se ha intentado reconocer la boca, que según parece era de poca profundidad y de la que existen recuerdos de los restos de un cajón de herramientas. Tras un desbroce, la bocamina está hundida y es difícilmente reconocible. Tampoco se encuentran restos de algún tipo de escombrera ni se han visto indicios de mineral de cobre en la zona.

Al parecer, existía otra mina de cobre en la partida de Candala, en las cercanías de San Román. Por las referencias, debió de dejarse de trabajar ya en el siglo XIX.

ANÁLISIS DE UN ARTEFACTO DE COBRE

Como se ha señalado, se recogió una pequeña pieza de cobre (fig. 7) que estaba dentro del relleno de un muro de adobe situado en la prolongación de la calle de la plaza de Labata. La pieza, una chapa circular de unos 10



Fig. 7. Artefacto de cobre hallado en Labata.

centímetros de diámetro y 0,5 milímetros de espesor, tiene en el centro un pequeño agujero circular de unos 8 milímetros de diámetro. Parece un adorno, sin que sea posible precisar ni fecha ni función. Llamó la atención dado lo infrecuente que resulta encontrar este material dentro de un adobe donde pueden aparecer restos de paja, carbón vegetal, fragmentos de cerámica o hueso.

Se determinó la composición elemental de este objeto mediante un equipo de fluorescencia de rayos X Niton XL3t XRF Analyzer (Thermo Fisher Scientific), usando el TestAllTM Geo.

Tabla 1. Resultados del análisis porcentual mediante fluorescencia de rayos X en dos puntos de un artefacto de cobre encontrado en Labata.

	<i>Sb</i>	<i>Sn</i>	<i>Ag</i>	<i>Pb</i>	<i>Cu</i>	<i>Ni</i>	<i>Fe</i>	<i>V</i>	<i>Ti</i>	<i>Cl</i>
Zona verde	0,08	0,09	0,05	0,41	89,39	0,06	2,66	0,01	0,01	4,35
Zona roja	0,07	0,11	0,05	0,46	85,90	0,06	2,42	0,01	0,05	3,87
	<i>Al</i>	<i>As</i>	<i>Sc</i>	<i>Ca</i>	<i>K</i>	<i>S</i>	<i>Cs</i>	<i>Te</i>	<i>P</i>	<i>Si</i>
Zona verde	0,86	0,09	0,01	0,12	0,07	0,30	0,01		0,23	1,19
Zona roja	2,10	0,09	0,01	0,82	0,24	0,37	0,01	0,02	0,19	3,13

Los resultados muestran el alto predominio de cobre y la ausencia de estaño. Desde luego, no es ni bronce ni latón. La presencia de hierro sugiere que se trataba de una pieza clavada. Aluminio, calcio, potasio y cloro pueden estar relacionados con la tierra del adobe.

CONCLUSIONES

A pesar de la relativamente abundante documentación administrativa, todo parece indicar que la actividad minera en Labata fue bastante modesta. Salvo la galería en plano inclinado, el resto de indicios mineros parecen ser simples catas de reducida profundidad, lo que indica mínimas inversiones. La ausencia de escombreras en Laguniés contrasta con su presencia en Sagarillo, Sierra Estronad y Casas de Esper, aunque es posible que fueran recicladas como campos de labor, algo bastante habitual en las canteras de areniscas del somontano. Esto sugiere una relativa antigüedad, mayor de lo que indica la documentación administrativa. Incluso

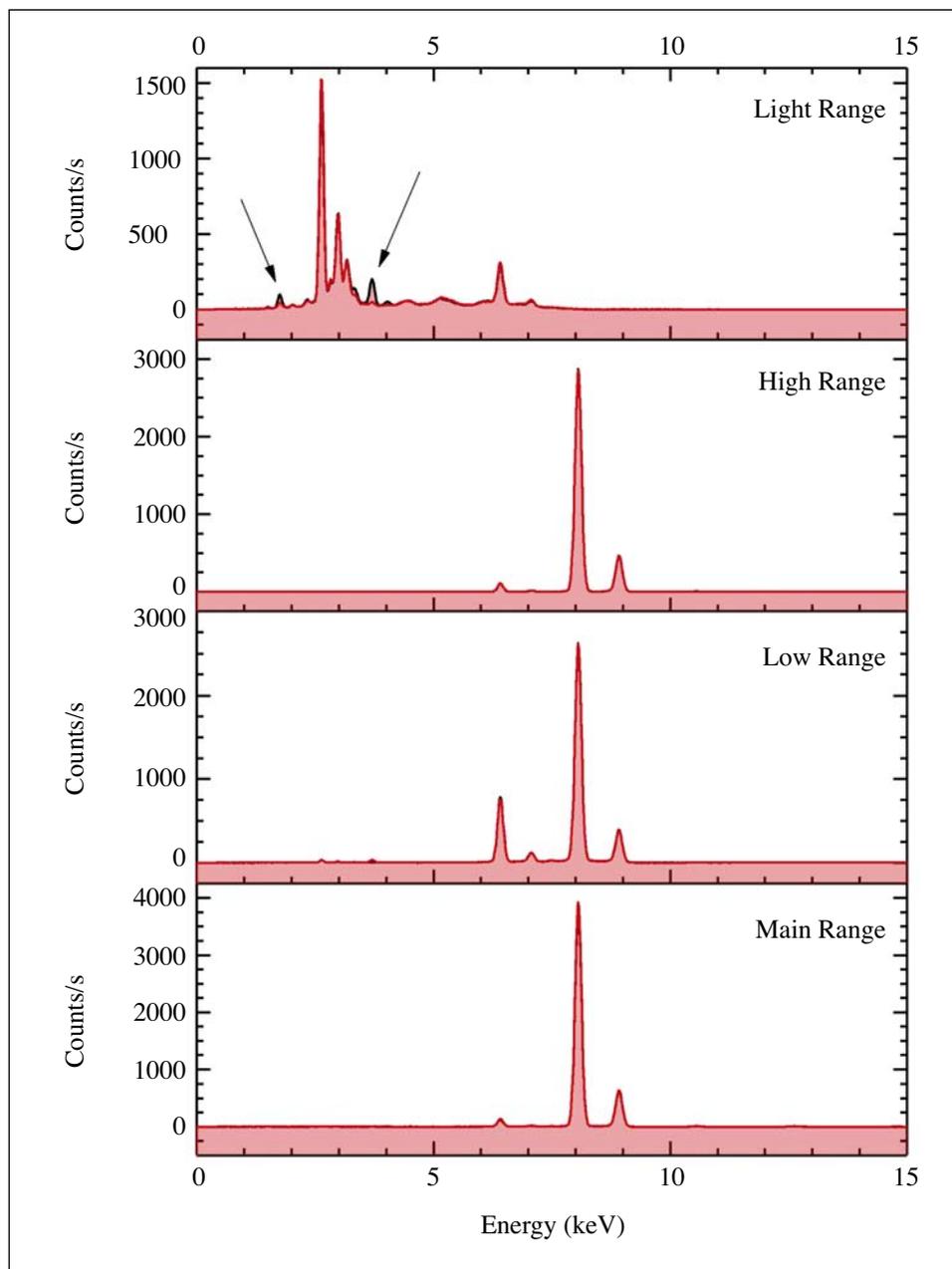


Fig. 8. Diagramas XRF de las zonas verde y roja del artefacto de cobre hallado en Labata. Se observa que los análisis de dos zonas con diferente alteración son prácticamente idénticos.

podría tratarse de una galería del siglo XIX. Las actuaciones posteriores serían simples reconocimientos.

Sorprende un poco la naturaleza del artefacto, que, evidentemente, no tiene relación con la actividad minera. Inicialmente parecía bronce, pero se revela como mayoritariamente compuesto por cobre, al margen de los productos de alteración. Nada indica su edad o su finalidad. Respecto a la primera, su presencia en un muro de adobes no más antiguo que un par de siglos, no impide que sea anterior. En cuanto a su finalidad, quizás estuviera relacionado con un utensilio de cocina tipo chocolatera. Desde luego, es rara su pérdida dado el alto porcentaje de reciclado de este metal.

AGRADECIMIENTOS

Es necesario agradecer la compañía de E. Monesma, A. Bail y M.^a D. Giménez durante los trabajos de campo. También la asistencia de R. Torreano y A. Machado, de la Jefatura de Minas de Huesca, así como la ayuda de M. Alfranca, L. F. Jaime, A. B. Justes, J. M. Tierz y J. J. Generelo, del Archivo Histórico Provincial de Huesca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELTRÁN, A. (1950). Las antiguas monedas oscenses. *Argensola*, 4: 305-326.
- BLÁZQUEZ, C., y T. SANCHO (1999). *Obras hidráulicas en Aragón*. CAI (CAI100, 40). Zaragoza. 126 pp.
- CUCHÍ, I. (1995). Introducción a la minería medieval en el Alto Aragón: las minas de cobre de Santa Eulalia (Huesca). En *Actas de las Jornadas sobre Minería y Tecnología de la Edad Media Peninsular (León)*: 217-224. Fundación Hullera Vasco-Leonesa. Madrid.
- CUCHÍ, J. A., y J. L. VILLARROEL (2017). Materiales para una historia de la minería en el Alto Aragón. *Aragonito*, 27: 37-39.
- DOMÍNGUEZ, M.^a A. (1978). Hallazgos de monedas en la provincia de Huesca. *Argensola*, 86: 391-398.
- FONCILLAS, J. A. (1975). Los poderes ocultos de “Marica”. *Nueva España*, 31/12/1975: 3.
- GILLOT, Th., D. BADÍA, J. A. MANSO y J. A. CUCHÍ (2012). Nota sobre mineralizaciones en Monzorrobal (Ayerbe, Huesca). *Lucas Mallada*, 14: 193-200.
- GIMENO CUNCHILLOS, Á. (1918). Impregnaciones cupríferas en Aragón. *Boletín de la Sociedad Aragonesa de Historia Natural*, xvii: 93-103.

- IGME (1974). *Mapa metalogenético de España. Hoja 23 (Huesca). 1 : 200 000*. IGME / Ministerio de Industria. Madrid. 23 pp., 1 tabla, 1 mapa.
- LASTANOSA, V. J. de (1645). *Museo de las medallas desconocidas españolas*. Imprenta de Juan Nogués. Huesca. 225 pp. Índices.
- MALLADA, L. (1878). *Descripción física y geológica de la provincia de Huesca*. Imprenta y Fundición de Manuel Tello. Madrid. 439 pp., 1 mapa. Ed. facsímil: IEA. Huesca. 1990.
- NIETO, J. J. (1996). El proceso siderometarlúrgico altoaragonés: los valles de Bielsa y Gistaín en la Edad Moderna (1565-1800). *Llull*, 19 (37): 471-508.
- PALLARUELO, S. (1994). *Los molinos del Altoaragón*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 39). Huesca. 310 pp.
- SUBÍAS, I., C. FERNÁNDEZ NIETO y J. M. GONZÁLEZ-LÓPEZ (1989). Mineralogía de las arenas cupríferas de Biel (Zaragoza). *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 13: 315-327.
- SUBÍAS, I., I. FANLO, E. MATEO y J. GARCÍA-VEIGAS (2003). A model for the diagenetic formation of sandstone-hosted copper deposits in Tertiary sedimentary rocks, Aragon (NE Spain): S/C ratios and sulphur isotope systematics. *Ore Geology Reviews*, 23 (1-2): 55-70.
- VALLÉS, J. (2002). Mis recuerdos de las minas de Labata. *Guaraguas*, 15: 26-27.

COLONIZACIÓN Y ÉXITO REPRODUCTIVO DEL BUITRE LEONADO (*GYPF FULVUS*) EN EL PARQUE NATURAL DE LAS BARDENAS REALES

Miriam BLANCO-SADA¹ | Ernesto PÉREZ-COLLAZOS²

RESUMEN.— El búitre leonado (*Gyps fulvus*) es una de las aves carroñeras de mayor tamaño. Esta especie pone un solo huevo, de color blanco, cuya incubación se lleva a cabo por ambos progenitores en un período estimado de entre 54 y 58 días. Se ha realizado el seguimiento del proceso de nidificación (enero-julio de 2017) en el Parque Natural de las Bardenas Reales, concretamente en las zonas de la Ralla, el Rallón y Sanchicorrota (Zona de Especial Protección de Aves El Plano – Blanca Alta). Se detectaron 38 nidos, una productividad del 60,5% y un éxito reproductivo del 62,2%. La actividad antropogénica de la zona, especialmente la presencia de turistas a pie y actividades militares, favoreció el abandono de 13 nidos. Los resultados obtenidos en 2017 se compararon con los conseguidos por la Comunidad de Bardenas, y mostraron una evolución positiva del éxito reproductivo entre 2008 (40%) y 2017 (62,2%). Por último, el estudio de la ocupación de las buitreras muestra una colonización progresiva, de las mismas con un notable aumento como consecuencia de las medidas de conservación llevadas a cabo en 2011 y 2013.

ABSTRACT.— Griffon vulture (*Gyps fulvus*) is one of the largest scavenger birds. One single egg is nested, incubation is carried out by both parents in an

Recepción del original: 30-10-2018

¹ Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. miriam.blanco1994@gmail.com

² Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. ernextop@unizar.es

estimated period of 54-58 days. The nesting process was carried out (January-July 2017) in the Bardenas Reales Natural Park, specifically in the areas of Ralla, Rallón and Sanchicorrota (Special Area of Bird Protection El Plano – Blanca Alta). 38 nests were detected, a productivity of 60.5% and a breeding success of 62.2%. The anthropogenic activity of the area, especially tourists and military activities, favored the abandonment of 13 nests. The results obtained in 2017 were compared with those obtained by the Community of Bardenas, showing a positive evolution of reproductive success between 2008 (40%) and 2017 (62.2%). Finally, the study of nest occupation showed a progressive colonization, with a notable increase as a consequence of the conservation measures carried out in 2011 and 2013.

KEY WORDS.— Anthropogenic pressures, bird conservation, breeding productivity, nesting, military pressures, Bardenas Reales Natural Park (Spain).

INTRODUCCIÓN

El buitre leonado *Gyps fulvus* (Hablizl, 1783) es un ave del orden accipitriforme (familia *Accipitridae*), que junto al buitre negro (*Aegypius monachus*), el alimoche (*Neophron percnopterus*) y el quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*), forman el grupo de las consideradas aves del Viejo Mundo (DONÁZAR, 1993).

El buitre leonado adulto es una de las rapaces de mayor tamaño, con una longitud de entre 95 y 110 centímetros, una envergadura comprendida entre los 230 y los 265 centímetros, y una masa corporal de entre 6 y 9 kilogramos (SEO BIRDLIFE, 2008; DONÁZAR, 1993). Se caracteriza por tener la cabeza y el cuello con un plumaje corto, blanco, junto con un pico de color claro, afilado, que le permite extraer trozos de alimento del interior de los cadáveres, y una lengua acanalada que conduce el alimento rápidamente hacia el esófago (DONÁZAR, 1993). La especie se distribuye desde Asia Central hasta la península ibérica (MARTÍ y DEL MORAL, 2004). Las poblaciones españolas se encuentran concentradas en el noreste (valle del Ebro, Sistema Central, sierras prepirenaicas) y en zonas reducidas de Andalucía (DEL MORAL, 2010).

El ciclo reproductor es de casi un año. La hembra pone un solo huevo, de color blanco y con un peso comprendido entre los 227 y los 230 gramos (ELÓSEGI, 1989). La incubación del huevo se lleva a cabo por ambos progenitores, y aunque durante los primeros días la hembra asume

la mayor parte del trabajo, el macho progresivamente toma un papel más activo. Este período está estimado entre 54 y 58 días (FERNÁNDEZ, 1977; DONÁZAR, 1993). La climatología, junto con la depredación, conforman los factores naturales que determinan las variaciones en el éxito reproductor, ya que pueden afectar a la pérdida de huevos y de pollos (DONÁZAR, 1993).

El buitre leonado se encuentra estrechamente ligado a la actividad humana, ya que su principal fuente de alimento proviene de los cadáveres de ganado doméstico (DONÁZAR, 1993; MARGALIDA, 1997). Debido al alimento disponible y a la protección legal de la especie, la población de buitre leonado aumentó de forma considerable entre los años 1989 y 1999 (DEL MORAL y MARTÍ, 2001). Sin embargo, a partir del año 2000, con la aparición de la encefalopatía espongiforme bovina (BSE), las restricciones llevadas a cabo por la Unión Europea, que impidían el abandono de cadáveres en el campo, originaron una disminución del alimento que tuvo graves consecuencias para esta especie carroñera: se estancó el incremento poblacional, disminuyó el éxito reproductivo y aumentó la mortalidad en los juveniles (DONÁZAR y cols., 2009; ZUBEROGOITIA y cols., 2012). A partir del año 2003, un cambio en la legislación favoreció la recuperación de la especie mediante la deposición de cadáveres en muladares o en el campo para aquellos dedicados a la ganadería extensiva (MARGALIDA y cols., 2010). No obstante, en la actualidad el crecimiento poblacional del buitre leonado se encuentra estancado, además de ser una especie vulnerable a amenazas como el veneno, responsable de la muerte de numerosos individuos en las Bardenas Reales (DONÁZAR y cols., 2008), la colisión con tendidos eléctricos (DONÁZAR, 1993; FERRER y cols., 1991) y con aerogeneradores (ATIENZA y cols., 2011; DE LUCAS y cols., 2012), así como la falta de alimento (BERNY y cols., 2015). Los censos indican cerca de 24 609 a 25 541 parejas reproductoras, y 91 545 a 95 013 individuos (DEL MORAL, 2010).

Por todo lo anterior, resulta relevante estudiar el éxito reproductivo de la especie, con el fin de conocer el estado reproductivo y de conservación de la población de las Bardenas Reales de Navarra, así como su evolución en el tiempo, siendo este un enclave natural caracterizado por una actividad antrópica fuerte (alto grado de turismo, actividades militares cercanas

y una destacable tradición agrícola y ganadera). Otros estudios realizados previamente en los que se ha determinado gran diversidad y abundancia de aves, algunas de ellas protegidas, han impulsado la creación de una zona de especial protección de aves (ZEPA de El Plano – Blanca Alta), situada, a su vez, dentro del Parque Natural de las Bardenas Reales de Navarra. Por tanto, el objetivo planteado en este artículo (estudiar el éxito reproductivo de las parejas de buitre leonado asentadas en el Parque Natural de las Bardenas Reales de Navarra, basado en el nacimiento de pollos durante los meses de febrero a julio de 2017) es relevante en cuanto se refiere a la conservación de la especie en Navarra y comunidades colindantes como Aragón.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

Este estudio se llevó a cabo en el Parque Natural de las Bardenas Reales de Navarra, en el interior de una de las dos Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), El Plano – Blanca Alta. Esta área se divide en tres zonas: la Ralla (474 metros), el Rallón (493 metros) y Sanchicorrota (426 metros) (fig. 1). Dos de las tres zonas de estudio se dividieron en subzonas debido a la extensión de las mismas: Ralla C (centro), Ralla SE (sureste), Ralla SO (suroeste), Rallón S1 (sur 1) y Rallón S2 (sur 2). Las zonas de estudio se visitaron durante los meses de enero y febrero de 2017. Para ello se emplearon prismáticos Nikon Monarch 8 – 42X, marcando los nidos en fotografías realizadas *in situ*. Posteriormente, se procedió a la descripción de cada nido presente en cada una de las zonas estudiadas, indicando la altura y la orientación. La altura de los nidos se midió empleando un telémetro. Con el fin de corroborar y corregir dichas mediciones se utilizó el Sistema Territorial de Información de Navarra (SITNA), a partir de la localización de los nidos en diferentes ortofotos de Navarra a escala 1 : 5000, y con la ayuda del mapa topográfico de la Comunidad Foral. Se determinó la orientación de los nidos con la ayuda de una brújula digital.

Una vez detectados los nidos, se procedió a la visita, una vez por semana, durante los seis meses que permanecen los buitres en el nido (de

febrero a julio), con un telescopio terrestre, modelo Zeiss Victory Diascope 85T 20-75X, y los prismáticos utilizados para determinar la presencia de nidos, a una distancia superior a 300 metros del nido para evitar perturbaciones, empleando la metodología de FERNÁNDEZ y cols. (1998), OLEA y cols. (1999) y LÓPEZ-LÓPEZ y cols. (2004). Durante cada muestreo, se tomó nota de la presencia o de la ausencia del buitre adulto incubando, presencia de pollo (y su estado de desarrollo), tanto dentro como

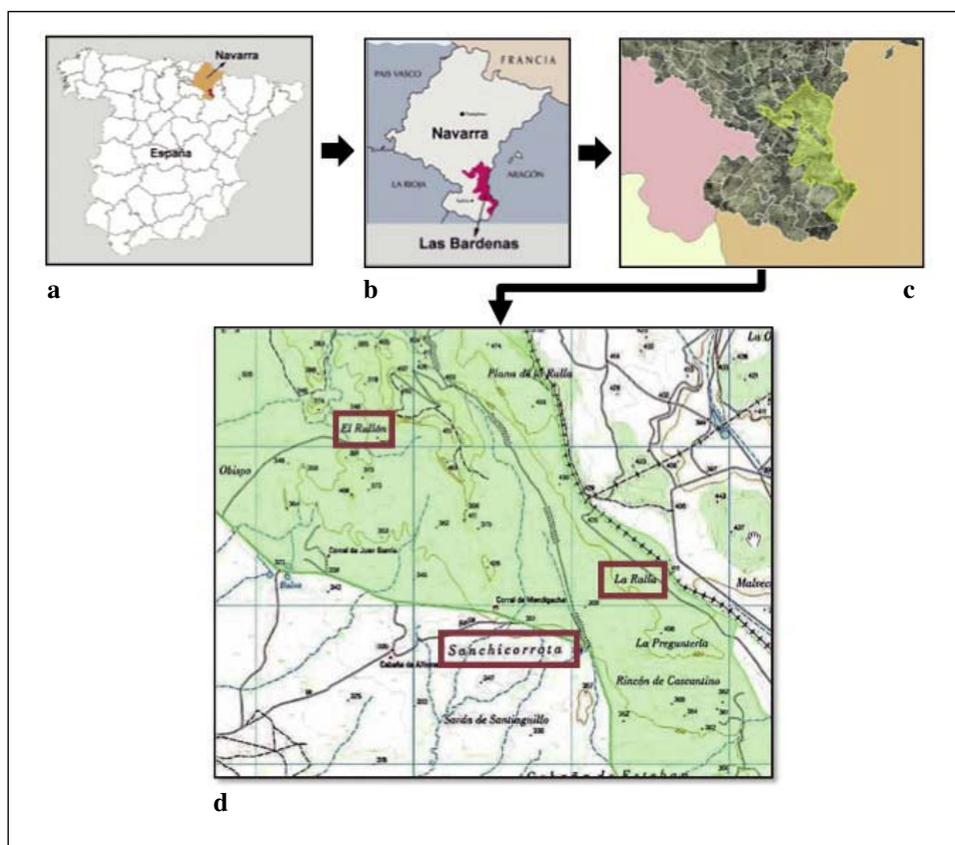


Fig. 1. Situación del área de estudio: *a*) mapa en el que se indica la ubicación geográfica de las Bardenas Reales de Navarra en España (fuente: Bardenas Reales de Navarra); *b*) mapa en el que se indica la ubicación geográfica de las Bardenas Reales de Navarra en la Comunidad Foral (fuente: Bardenas Reales de Navarra); *c*) ortofoto del año 2012. Escala 1 : 5000 en la que se aprecia la delimitación del Parque Natural de las Bardenas Reales (fuente: SITNA); *d*) mapa topográfico en el que se indican las tres zonas de estudio dentro de la delimitación de la ZEPa El Plano – Blanca Baja, escala 1 : 25 000.

fuera del nido. Se tuvieron en cuenta las perturbaciones, la presencia de otras aves necrófagas como el alimoche, la actividad agropecuaria (tractores, quema de rastrojos, entre otros), la actividad militar (vuelo de aviones o lanzamiento de explosivos), la presencia de turismo a pie y la afluencia de vehículos. Se empleó la escala de la tabla 1 para determinar la intensidad de las perturbaciones. Los datos climáticos se obtuvieron de la Estación Meteorológica Automática situada en la Loma Negra, perteneciente al Gobierno de Navarra.

Tabla 1. Escala de medición de intensidad de la perturbación, siendo 1 una frecuencia baja, y 10, muy elevada.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Actividad militar</i>	–	Bombas (lejanas) / maniobras aéreas (lejanas)				Aviones en zonas cercanas	Bombas + maniobras aéreas				
<i>Actividad turística</i>	–	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-99	> 100
<i>Presencia de vehículos</i>	–	1-3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-18	19-21	22-24	25-27	> 28
<i>Actividad agrícola</i>	–	Maquinaria trabajando lejos				Maquinaria trabajando cerca					
<i>Presencia de alimoche</i>	–	Búsqueda del lugar de nidificación (lejano)			Incu-bando	Competencia interespecífica				Ataque	

La productividad se calculó mediante el cociente del número de pollos volados y el número de parejas detectadas (ARROYO y cols., 1990; DEL MORAL y MARTÍ, 2001; LÓPEZ-LÓPEZ y cols., 2004; DEL MORAL, 2010). Debido a su elevada movilidad, existe una gran dificultad para determinar si las parejas avistadas en los posaderos corresponden a buitres adultos ya avistados en otros lugares. Por ello, únicamente se tuvieron en cuenta aquellas parejas avistadas en diferentes nidos en un período corto de tiempo, lo que permite asegurar que se trata de parejas diferentes.

El éxito reproductivo se estimó a partir del cociente del número de pollos volados entre el número de parejas que han llevado a cabo la puesta en el último año (ARROYO y cols., 1990; DEL MORAL y MARTÍ, 2001; LÓPEZ-LÓPEZ y cols., 2004; DEL MORAL, 2010).

Las fórmulas citadas para llevar a cabo estos cálculos son:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{n.º de pollos volados}}{\text{n.º de parejas detectadas}} \times 100$$

$$\text{Éxito reproductivo} = \frac{\text{n.º de pollos volados}}{\text{n.º de parejas con puesta}} \times 100$$

Los datos obtenidos, correspondientes al año 2017, se compararon con los obtenidos por la Comunidad de Bardenas Reales, entre los años 2008 y 2016. Para realizar este análisis comparativo fue necesario calcular el éxito reproductivo de cada una de las zonas y subzonas de estudio para los diferentes años. Para las subzonas, se realizó una comparación por pares de años de los valores mediante estadística paramétrica (t-Student) o no paramétrica (U de Mann-Whitney) dependiendo de la normalidad de los datos. Los análisis se realizaron en el programa PAST (Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis) (HAMMER y cols., 2001).

La base de datos de la Comunidad de las Bardenas Reales se empleó para realizar el análisis de la ocupación de las buitreras en los últimos diez años. Esta base de datos permitió determinar las zonas en donde el buitre leonado ha nidificado durante estos años con mayor o menor frecuencia, y compararlos entre ellos.

RESULTADOS

Muestras de las buitreras

Durante el período de nidificación se detectaron 38 nidos: 25 en la zona de la Ralla (7 en la Ralla C, 12 en la Ralla SO y 6 en la Ralla SE), 12 en el Rallón (10 en el Rallón S1 y 2 en el Rallón S2) y 1 en el cabezo de Sanchicorrota.

La tabla II muestra la relación de nidos abandonados y sus características (altura, orientación y ubicación en el cortado), en función de las condiciones meteorológicas y antropogénicas. Los días 6 de abril y 17 de mayo se produjo el máximo abandono de nidos (tres nidos cada día).

Tabla II. Nidos abandonados, características y perturbaciones en las tres zonas estudiadas del Parque Nacional de Bardenas Reales de Navarra.

	Nido	Día	Ubicación	Orientación	Altura (m)	Actividad militar	Turismo	Vehículos	Actividad agrícola	Alimoche	Clima
<i>Ralla C</i>	1	08/01	Erosionable	O	70	1	1	1	0	0	Cierzo (32)
	9	27/04	Resguardo	SO	62	0	3	1	0	6	Cierzo (43)
<i>Ralla SO</i>	1	28/02	Erosionable	SO	70	3	1	1	0	0	Cierzo (28)
	3	06/04	Erosionable	SO	62	5	4	2	0	5	Cierzo (46)
	26	06/04	Expuesto	O	57	5	4	2	0	5	Cierzo (46)
	11	17/05	Cavidad	SE	62	0	2	1	0	6	Cierzo (24)
	21	17/05	Resguardo	O	58	0	2	1	0	6	Cierzo (24)
<i>Ralla SE</i>	19	10/03	Cavidad	O	55	5	8	5	0	0	—
	8	17/05	Cavidad	O	60	0	2	1	0	6	Cierzo (24)
	6	15/06	Resguardo	O	57	0	4	1	0	6	Aumento de la temperatura
<i>Sanchicorrota</i>	3	14/04	Resguardo	SO	72	0	10	8	0	5	—
<i>Rallón SI</i>	18	23/03	Erosionable	SO	43	0	6	4	0	0	Bajada de la temperatura
	14	29/03	Resguardo	SO	83	8	8	6	0	4	—
	15	06/04	Expuesto	SO	86	5	4	2	0	5	Cierzo (46)
	11	14/04	Expuesto	SO	88	0	10	8	0	5	—

Cálculo de productividad y éxito reproductivo

Se detectaron 23 nidos en los que los juveniles volaron. La productividad fue del 60,5% y el éxito reproductivo del 62,2%. Los valores analizados por zonas fueron mayores en el Rallón (P = 66,7%; ER = 66,7%) que en la Ralla (P = 60%; ER = 62,5%). En Sanchicorrota los resultados son del 0%, debido a la ausencia de pollos volados. Respecto a las subzonas, destaca el Rallón S2, con una productividad y un éxito reproductivo del 100%, junto con la Ralla C, con valores inferiores al anterior pero elevados en comparación con el resto (P = 71,4% y ER = 83,3%). La Ralla SE presenta los valores más bajos, siendo ambos del 50% (tabla III).

Tabla III. Productividad (P) y éxito reproductivo (ER) en las zonas y subzonas estudiadas del Parque Natural de las Bardenas Reales de Navarra.

	<i>P (%)</i>	<i>ER (%)</i>
<i>Ralla C</i>	71,4	83,3
<i>Ralla SO</i>	58,3	58,3
<i>Ralla SE</i>	50	50
<i>Total Ralla</i>	60	62,5
<i>Sanchicorrota</i>	0	0
<i>Rallón S1</i>	60	60
<i>Rallón S2</i>	100	100
<i>Total Rallón</i>	66,7	66,7
Total	60,5	62,2
España (2008)	62	67

Comparativa del éxito reproductivo

El éxito reproductivo del buitre leonado desde 2008 hasta 2017 muestra un incremento generalizado en su valor total, siendo máximo en 2014 (90,5%; fig. 2). En cuanto a las zonas, tanto la Ralla como el Rallón presentan valores máximos del 100% en diferentes años (la Ralla, 2011; el Rallón, 2012 y 2016). El Rallón presenta una evolución muy positiva, pasando de un éxito reproductivo del 0% en 2008 y 2009 a más del 60% en los últimos seis años de este estudio.

En cuanto a las subzonas, el sector con mayor éxito reproductivo es la Ralla SO, con valores superiores al 50% y un éxito reproductivo del 100%

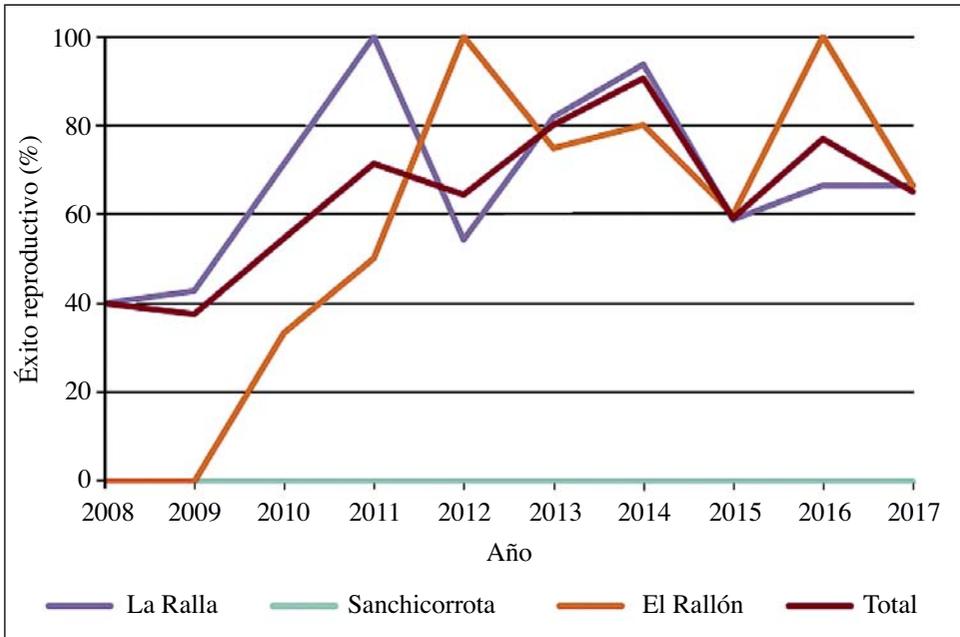


Fig. 2. Éxito reproductivo durante el período 2008-2017 en las zonas y subzonas estudiadas del Parque Natural de las Bardenas Reales de Navarra.

en varios años (2008, 2010, 2011 y 2013). Le sigue por la Ralla C, con valores superiores al 50% en todos los años, excepto en 2008, y consiguiendo dos años valores del 100% (2011 y 2014). Por último, la Ralla SE, con un éxito reproductivo bajo (0%) en los años 2008-2012, presentó valores superiores al 60% en años recientes. En la subzona Rallón S1 se encontró el mayor éxito reproductivo de esta zona. En el caso de Sanchicorrota, el éxito reproductivo es del 0% en todos los años estudiados (fig. 2).

Los análisis estadísticos mostraron que las medias de éxito reproductivo son estadísticamente similares en todas las subzonas, con excepción de los años 2009 y 2016 ($p < 0,05$).

Estudio de la ocupación de las buitreras

En la figura 3 se observa la evolución de los nidos de buitre estudiados desde 2008 hasta 2017. Los resultados muestran una evolución positiva,

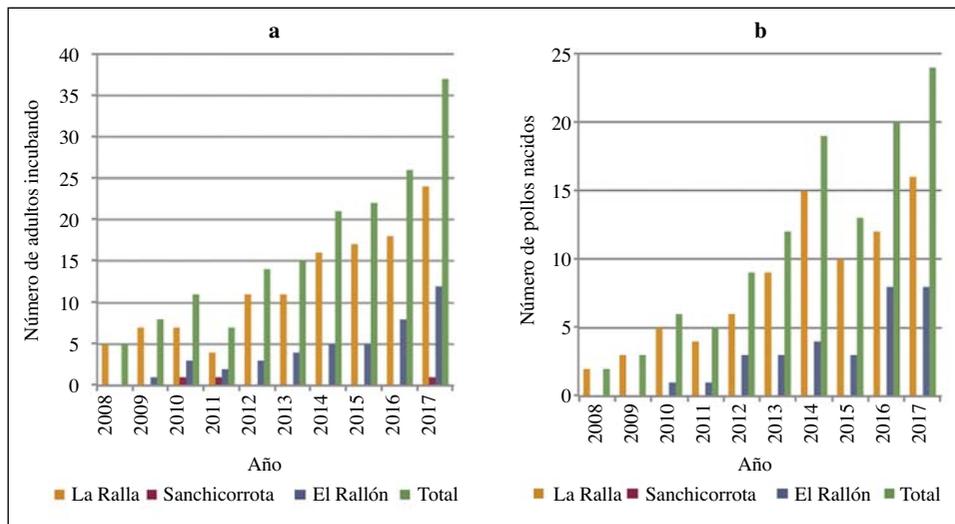


Fig. 3. a) Evolución del número de adultos incubando a lo largo de los años; b) evolución del número de nacimientos de pollos a lo largo de los años, en las zonas y subzonas estudiadas del Parque Nacional de las Bardenas Reales de Navarra.

pues se alcanza un valor máximo de 37 nidos ocupados en 2017 (fig. 3). Se aprecia un crecimiento elevado entre los años 2011, 2012, 2013 y 2014, con un aumento de siete y seis nidos. Los valores mínimos se producen en el año 2008, ya que únicamente se construyen cinco nidos entre las tres zonas. A excepción del año 2011, en todos los años se produce un incremento del número de nidos (fig. 3).

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Análisis de los factores de presión de los nidos

Actividad antropogénica

El estudio realizado por DONÁZAR y CORTÉS-AVIZANDA (2014) en las Bardenas Reales de Navarra calcula una distancia de huida de 200 metros frente a personas caminando y casi nula frente a vehículos motorizados vacíos o en los que no es perceptible la presencia humana (permanecen dentro del vehículo sin realizar perturbaciones acústicas), para el buitre leonado. Desde 2011 en las Bardenas Reales de Navarra, durante la época de cría, para favorecer el éxito de las especies rupícolas, se restringió el acceso

a varios caminos y senderos debido a su cercanía con los lugares de nidificación, pudiendo generar molestias en las aves, cuando más crítico es el abandono del nido (DONÁZAR y CORTÉS-AVIZANDA, 2014). Sin embargo, los resultados muestran que durante la época de cría se produjo un alto uso de estos senderos, además de una intensa actividad militar (tabla II). Cabe destacar que las zonas de la Ralla y el Rallón son dos de los lugares más transitados por los turistas a pie dentro del entorno del Parque Natural (FUNDACIÓN INTERUNIVERSITARIA FERNANDO GONZÁLEZ BERNÁLDEZ y EUROPARC-España, 2015).

Climatología

En las Bardenas Reales, como en todo el valle del Ebro, son frecuentes los vientos fríos y fuertes con velocidades superiores a 20 km/h y dirección noroeste denominados *cierzo* (ELÓSEGUI y URSÚA, 1990; COMUNIDAD DE LAS BARDENAS REALES DE NAVARRA, 2017). Este fenómeno afecta fuertemente a los nidos orientados al sur y puede provocar un enfriamiento repentino del pollo. Por otra parte, en esta zona también es frecuente la existencia de vientos cálidos con dirección sureste, denominados *bochorno* que pueden producir un sobrecalentamiento en épocas en las que el pollo es más vulnerable (ELÓSEGUI y URSÚA, 1990; COMUNIDAD DE LAS BARDENAS REALES DE NAVARRA, 2017). Por ello, aquellos nidos con orientaciones expuestas al viento pueden tener temperaturas estresantes para el desarrollo del polluelo.

Características naturales de los nidos (ubicación en el cortado, altura y orientación)

Se ha observado que la mayoría de los nidos se encuentran orientados en direcciones desfavorables debido a la geomorfología de los cortados y a la disponibilidad de oquedades y repisas, por lo tanto, el éxito de los nidos dependerá de su ubicación dentro del cortado, ya que aquellos situados en zonas más resguardadas, en cavidades u oquedades de la pared, tendrán mayor posibilidad de desarrollo. A este factor se le suma la gran capacidad de erosión del terreno, que puede potenciar la destrucción de aquellos nidos situados en zonas con una ligera pendiente o expuestas de forma directa a las lluvias torrenciales (LÓPEZ-LÓPEZ y cols., 2004). No se ha encontrado una clara relación entre presencia de nidos y altura, ya que existe una gran

variedad en los nidos abandonados cuyas alturas son muy variables, lo que coincide con lo reportado en otros estudios (GARCÍA-RIPOLLÉS y cols., 2005).

Análisis de la ocupación de buitreras y posibles causas del abandono

Los resultados obtenidos muestran una elevada tasa de abandono (15 nidos). Al inicio de la incubación tuvo lugar el abandono de tres nidos (dos en febrero y uno en marzo). Este hecho puede deberse a dos causas naturales: a) la elevada fragilidad del pollo durante su desarrollo embrionario en el interior del huevo, dando lugar a la muerte del embrión si se enfría o b) el abandono definitivo o temporal del adulto, pudiendo suponer la muerte del embrión (DONÁZAR y CORTÉS-AVIZANDA, 2014). Estos tres nidos presentaban una orientación suroeste y oeste, una altura de entre 55 y 70 metros y una ubicación en cavidad resguardada de la lluvia pero no del viento, y otros dos localizados en zonas erosivas; las condiciones climáticas no fueron especialmente extremas durante dicho período, aunque se observó la presencia de viento noroeste (8 de enero, 32,2 km/h; 28 de febrero, 27,6 km/h), por lo que no se puede descartar la climatología como factor de presión. Sin embargo, la presencia de un nutrido grupo de turistas el 10 de marzo pudo provocar el abandono de uno de los nidos.

El máximo abandono de nidos se detectó durante los días comprendidos entre el 23 de marzo y el 17 de mayo, ya que en ese período se produjo una desocupación de 11 nidos. Esto coincide con otros estudios que indican que durante este período se solapan la fragilidad del huevo y la del pollo recién nacido, que no es capaz de regular su temperatura corporal (DONÁZAR y CORTÉS-AVIZANDA, 2014). El nido abandonado el 23 de marzo presentó una orientación al suroeste, una altura de 43 metros y estaba localizado en una hendidura completamente expuesta a la acción erosiva de la lluvia. El día del abandono cabe destacar la presencia de turistas a pie a menos de 300 metros del Rallón y el descenso de la temperatura de aproximadamente 9 °C (13,1 °C, 16 de marzo; 4,2 °C, 23 de marzo). Entre el 29 de marzo y el 6 de abril, se abandonaron cuatro nidos. De ellos, tres presentaban una orientación desfavorable al suroeste y dos al sureste una altura muy variable (56 a 86 metros) y estaban expuestos a la erosión, a las inclemencias climáticas y solo uno de ellos situado en una cavidad. La actividad militar del 29 de marzo fue

muy alta, con un valor de 8, que hace referencia a la presencia de maniobras con aviones de combate muy cercanos a las zonas de estudio, junto con la presencia de turistas a pie a menos de 200 metros de la Ralla (tabla II). Además, para el día 6 de abril, la velocidad media del viento fue muy alta y fría, de casi 46 km/h con dirección noroeste.

El único nido presente en el cabezo de Sanchicorrota fue abandonado el día 14 de abril, durante la Semana Santa, comprendida entre el 13 y el 17 de abril. La principal causa del abandono pudo ser la presencia de turistas en zonas muy cercanas a los lugares de anidamiento de las aves. El informe emitido por la Comunidad de Bardenas Reales de Navarra (2017) muestra una afluencia de 1170 visitantes el 14 de abril, con una estimación total de 11 600 personas durante este período festivo. En este día se observó una elevada presencia de turistas en las zonas de estudio, que ascendían en peregrinación por un sendero que facilita el ascenso al cabezo de Sanchicorrota. Durante este período, también fue abandonado uno de los nidos de la zona del Rallón S1, con orientación suroeste, una altura de 88 metros y situado en una repisa completamente expuesto a las perturbaciones externas. Del mismo modo, durante el muestreo, se observaron un alto número de grupos de turistas en los senderos citados anteriormente, entre ellos, los que circulan por la punta del Rallón. Este hecho podría corroborar las observaciones de DONÁZAR y CORTÉS-AVIZANDA (2014), en las que se concluye que la principal causa de abandono de los nidos es la presencia humana a pie, es decir, la silueta del hombre potenciada por su voz.

El período de incubación finalizó el 27 de abril en la zona de muestreo, coincidiendo con las fechas indicadas para la península ibérica (enero-abril) (XIROUCHAKIS, 2010). En este día, el viento fue de 43 km/h con dirección noroeste y un nido fue abandonado. Dicho nido presentaba una orientación desfavorable al suroeste, una altura de 62 metros y una posición resguardada de la lluvia pero no del viento. La ausencia de perturbaciones externas importantes permite concluir que el cierzo pudo ser la principal causa de abandono. A partir de este momento, entre el 4 y el 17 de mayo, se observó una mortalidad de tres polluelos. A pesar de la existencia de cierzo moderado (17 de mayo; 23,7 km/h), estos nidos presentaban una orientación oeste, una altura muy similar (58, 57 y 60 metros, respectivamente) y una localización favorable en cuevas o en repisas a resguardo de la lluvia,

por lo que las causas del abandono probablemente se encuentran ligadas a factores antrópicos. Este hecho permite determinar que es posible que la actividad militar esté influyendo negativamente en la nidificación, ya que durante estos días (10 de mayo), se detectó una actividad muy elevada con lanzamiento de bombas y maniobras aéreas. Estas acciones militares han mostrado ser nocivas para la nidificación de otras especies, como ocurre en la base de Fort Hood (Texas), en la que se ha observado un descenso en la distribución del cuervo americano (*Corvus brachyrhynchos*) en áreas con una intensa actividad militar, favoreciendo el desarrollo del cardenal rojo (*Cardinalis cardinalis*) (BARRON y cols., 2012).

El abandono del último nido se produjo el 15 de junio, cuando la mayoría de los pollos habían cambiado su plumaje parcial o totalmente, y son más fuertes ante las amenazas (DONÁZAR, 1993). Este último nido se situaba en la zona de la Ralla SE y el desarrollo del pollo era favorable, ya que poseía plumaje de pollo juvenil, por lo que esta muerte resulta atípica. El nido presentaba orientación oeste, una altura de 57 metros y una posición favorable al resguardo de la lluvia, pero no del viento. Este fracaso probablemente fue producto de la actividad humana, que incitó a que el pollo intentase volar sin que las plumas alares estuviesen desarrolladas completamente.

Productividad (P) y éxito reproductivo (ER)

Los resultados obtenidos (tabla III), muestran una productividad (60,5%) y un éxito reproductivo (62,2%) de la zona de estudio inferior a los datos del último censo llevado a cabo en España (P = 62%) y bastante superior a los valores relativos a Navarra, en los que se estima una productividad del 47% (FERNÁNDEZ y AZKONA, 2009).

El análisis por zonas muestra unos resultados superiores en el Rallón (P = 66,7% y ER = 66,7%) que en la Ralla (P = 60% y ER = 62,5%), siendo nulos en la zona de Sanchicorrota, ya que todavía no ha sido posible el desarrollo de un nido en la misma. Los resultados obtenidos para el Rallón presentan valores de productividad superiores a los españoles y un éxito reproductivo similar a los datos de España, calculados en el censo de 2008. En cuanto a las subzonas, el Rallón S2 (P = 100% y ER = 100%) y la Ralla C (P = 71,4% y ER = 83,3%) son los únicos que superan los valores

reportados para España (DEL MORAL, 2010; SALVADOR, 2016), en ambos casos, los nidos se encuentran más separados que en el resto de zonas o existen barreras que impiden la conexión entre ellos. Por el contrario, en la Ralla SE, donde los resultados obtenidos son los más bajos ($P = 50\%$ y $ER = 50\%$), los nidos se encuentran muy cercanos y conectados entre sí. Estos resultados concuerdan con otros estudios en los que se ha detectado una correlación negativa entre la distancia de los nidos y su éxito reproductivo (LÓPEZ-LÓPEZ y cols., 2004).

Éxito reproductivo (2008-2017)

Los resultados relativos a los éxitos reproductivos desde 2008 a 2017 (fig. 2) reflejan su aumento; esto puede ser debido a las mejoras producidas mediante la creación de las áreas de mitigación de impacto (*buffers*) que restringen el paso en las zonas de anidamiento desde el año 2011 (BARDENAS REALES DE NAVARRA, 2017). Estas mejoras se potenciaron con la instalación de puntos de información móviles, situados en dos lugares alrededor de la carretera perimetral, con material interactivo sobre las aves nidificantes, con prismáticos y telescopios para mostrar los nidos a los visitantes entre los años 2013 y 2016 (FUNDACIÓN INTERUNIVERSITARIA FERNANDO GONZÁLEZ BERNÁLDEZ y EUROPARC-España, 2015). En este período se observa un incremento del éxito reproductivo, a excepción del año 2015, y un descenso en este último año (2017), en el que no se colocaron los citados puntos de información móviles.

A lo largo del período comprendido entre 2008 y 2017, el éxito reproductivo es mayor en la zona de la Ralla (media del 67,7%) que en el resto de zonas, seguido por el Rallón (media del 56,5%) y, por último, Sanchicorrota (media del 0%). Durante los primeros años de colonización de nuevos lugares se observa un éxito reproductivo más bajo que en años posteriores debido, posiblemente, a que los individuos que colonizan un espacio son individuos más jóvenes, con un éxito reproductivo menor debido a su madurez sexual (OLEA y cols., 1999). Los valores de éxito reproductivo observados en la zona del Rallón muestran la efectividad de las medidas de conservación llevadas a cabo por la Comunidad de las Bardenas Reales. A partir del año 2011, se aprecia un éxito reproductivo muy superior a los valores producidos en años anteriores (0% para 2008 y 2009; 33,3% para 2010). En

este caso, se produce una ocupación de los lugares de nidificación que demuestra una colonización lenta y progresiva de la especie en este cabezo.

Ocupación de las buitreras

La evolución de las buitreras a lo largo de los años muestra cómo se han visto favorecidas por la creación de las citadas áreas de mitigación (fig. 3). En 2011 no se observan mejoras producidas por las restricciones de acceso, de hecho el número de nidos es bastante inferior al de 2010; en este caso sería necesario analizar el cumplimiento de esta medida y el resto de los factores externos. Por el contrario, en el año 2012 las mejoras dieron resultado positivo, ya que el número de nidos se duplica frente a 2011. Para el año 2013 se instauraron puntos de información que permitieron concienciar a los turistas de la importancia del cumplimiento de las restricciones. Del mismo modo que la medida anterior, los resultados de estas acciones comienzan a hacerse notables para el año 2014, con un aumento de seis nidos. El número de buitreras se ha incrementado considerablemente en este último año en el que no se han colocado los *stands* informativos hasta los 38 nidos, aunque se ha observado una reducción, citada anteriormente, en el éxito reproductivo.

La efectividad de las medidas anteriores se puede analizar mediante el análisis de la ocupación de los nidos y el éxito reproductivo a lo largo de los años. En los años 2011 y 2013 las medidas de conservación llevadas a cabo no reflejaron un aumento en la ocupación de los nidos, pero sí mostraron el incremento del éxito reproductivo. Por el contrario, en 2017 la cantidad de nidos ocupados ha sido superior a pesar de la ausencia de puntos de información, pero el éxito reproductivo ha sufrido un descenso del 12% frente a 2016.

Los resultados muestran una evolución positiva de las buitreras de la zona, ya que, con alguna excepción, se produce un aumento de las zonas ocupadas y cada año la colonización de otras es superior. Como se ha citado anteriormente, la colonización de nuevas parejas se ve potenciada por la colonialidad de la especie. Una vez establecidas las primeras parejas, la aparición de nuevas buitreras es progresiva, relacionada con el carácter social de la especie (MATEO-TOMÁS y OLEA, 2011).

En síntesis, la nidificación y el éxito reproductivo del buitre en el Parque Natural de las Bardenas Reales de Navarra presentan un buen estado, así como la colonización de nuevos cortados como Sanchicorrotta. No obstante, los resultados han mostrado la fragilidad del éxito reproductivo (abandono de nidos) si se mantienen presiones antrópicas como la actividad militar y la presencia humana cercana a los nidos durante el período de nidificación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARROYO, B., E. FERREIRO y V. GARZA (1990). *II Censo Nacional de buitre leonado (Gyps fulvus): población, distribución, demografía y conservación*. ICONA. Madrid.
- ATIENZA, J. C., I. MARTÍN FIERRO, O. INFANTE, J. VALLS y J. DOMÍNGUEZ DEL VALLE (2011). *Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos (versión 3.0)*. SEO / BirdLife. Madrid.
- BARRON, D. G., P. J. WEATHERHEAD, J. D. BRAWN, L. K. BUTLER y L. M. ROMERO (2012). Effects of Military Activity on Breeding Birds. *Journal of Wildlife Management*, 76: 911-918.
- BERNY, P., L. VILAGINES, J. M. CUGNASSE, O. MASTAIN, J. Y. CHOLLET, G. JONCOUR y M. RAZIN (2015). Vigilance poison: Illegal poisoning and lead intoxication are the main factors affecting avian scavenger survival in the Pyrenees (France). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 118: 71-82.
- COMUNIDAD DE BARDENAS REALES DE NAVARRA (2017). *Afluencia de visitantes al Parque Natural y Reserva de la Biosfera de Bardenas Reales en Semana Santa 2017*. Recuperado el 30-10-2017, a partir de <<https://www.bardenasreales.es/noticias.php?id=372>>.
- DE LUCAS, M., M. FERRER, M. J. BECHARD y A. R. MUÑOZ (2012). Griffon vulture mortality at wind farms in southern Spain: Distribution of fatalities and active mitigation measures. *Biological Conservation*, 147: 184-189.
- DEL MORAL, J. C. (2010). *El buitre leonado en España: población reproductora en 2008 y método de censo*. SEO / BirdLife. Madrid.
- DEL MORAL, J. C., y R. MARTÍ (2001). *El buitre leonado en la península ibérica: III Censo Nacional y I Censo Ibérico coordinado, 1999*. SEO / BirdLife. Madrid.
- DONÁZAR, J. A. (1993). *Los buitres ibéricos: biología y conservación*. Aranzadi. San Sebastián.
- DONÁZAR, J. A., A. CORTÉS-AVIZANDA, E. ARRONDO, D. SERRANO, O. CEBALLOS y A. URMENETA (2008). Sobre turismo, veneno y alimoche en Bardenas Reales. *Quercus*, 371: 64-65.
- DONÁZAR, J. A., y A. CORTÉS-AVIZANDA (2014). *Caracterización de la entrada de visitantes y efectos de la presencia de personas en poblaciones de rapaces*. Bardenas

- Reales. Gobierno de España. Sevilla. Recuperado a partir de <http://www.bardenasreales.es/participacion_ciudadana.html>.
- DONÁZAR, J. A., A. MARGALIDA y D. CAMPIÓN (2009). *Vultures, Feeding Stations and Sanitary Legislation: A Conflict and Its Consequences from the Perspective of Conservation Biology*. Aranzadi. San Sebastián.
- ELÓSEGUI, I. (1989). Vautour fauve (*Gyps fulvus*), Gypaète barbu (*Gypaetus barbatus*), Percnoptère d'Égypte (*Neophron percnopterus*): Synthèse bibliographique et recherches. CBEA (*Acta Biologica Montana*. Série Documents de travail, 3). Pau.
- ELÓSEGUI, J., y C. URSÚA (1990). *Las Bardenas Reales*. Gobierno de Navarra. Pamplona. Recuperado a partir de <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=83615>>.
- FERNÁNDEZ, J. A. (1977). Comportamiento del buitre leonado (*Gyps f. fulvus*) en nido. *Ardeola*, 22: 29-54.
- FERNÁNDEZ, C., y P. AZKONA (2009). El buitre leonado en Navarra. En J. C. del Moral (ed.), *El buitre leonado en España: población reproductora en 2008 y método de censo*. SEO / BirdLife. Madrid.
- FERNÁNDEZ, C., P. AZKONA y J. A. DONÁZAR (1998). Density-dependent effects on productivity in the Griffon Vulture *Gyps fulvus*: The role of interference and habitat heterogeneity. *Ibis*, 140: 64-69.
- FERRER, M., M. DE LA RIVA y J. CASTROVIEJO (1991). Electrocution of Raptors on Power Lines in Southwestern Spain. *Journal of Field Ornithology*, 62: 181-190.
- FUNDACIÓN INTERUNIVERSITARIA FERNANDO GONZÁLEZ BERNÁLDEZ y EUROPARC-ESPAÑA (2015). *Estudio sobre la capacidad de acogida de uso público del Parque Natural de las Bardenas Reales de Navarra*. Madrid. Recuperado a partir de <https://www.bardenasreales.es/notificacion.php?id=39>
- GARCÍA-RIPOLLÉS, C., P. LÓPEZ-LÓPEZ, F. GARCÍA-LÓPEZ, J. M.^a AGUILAR y J. VERDEJO (2005). Modelling nesting habitat preferences of Eurasian Griffon Vulture *Gyps fulvus* in eastern Iberian Peninsula. *Ardeola*, 52: 287-304.
- HAMMER, Ø., D. A. T. HARPER y P. D. RYAN (2001). Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4: 19-20.
- LÓPEZ-LÓPEZ, P., C. GARCÍA-RIPOLLÉS y J. VERDEJO (2004). Population Status and Reproductive Performance of Eurasian Griffons (*Gyps fulvus*) in Eastern Spain. *Journal of Raptor Research*, 38: 350-356.
- MARGALIDA, A. (1997). Consumición de pequeños cadáveres por parte de buitres leonados (*Gyps fulvus*) en Cataluña (NE España). *Butlletí del Grup Català d'Anellament*, 14: 55-57.
- MARGALIDA, A., Í. ZUBEROGOITIA, J. E. MARTÍNEZ, I. GÓMEZ, J. A. MARTÍNEZ y A. AZKONA (2010). Reduced food availability induces behavioural changes in Griffon Vulture *Gyps fulvus*. *Ornis Fennica*, 87: 52-60.

- MARTÍ, R., y J. C. DEL MORAL (2004). *Atlas de las aves reproductoras de España*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Madrid.
- MATEO-TOMÁS, P., y P. OLEA (2011). The importance of social information in breeding site selection increases with population size in the Eurasian Griffon Vulture *Gyps fulvus*. *Ibis*, 153: 832-845.
- OLEA, P., J. GARCÍA y J. FALAGÁN (1999). Expansión del buitre leonado *Gyps fulvus*: tamaño de la población y parámetros reproductores en un área de reciente colonización. *Ardeola*, 46: 81-88.
- SALVADOR, A., y M. B. MORALES (eds.) (2016). *Enciclopedia virtual de los vertebrados españoles*. Museo Nacional de Ciencias Naturales. Madrid. Recuperado el 10-9-2017, a partir de <<http://www.vertebradosibericos.org/>>.
- SEO / BirdLife (2008). *Enciclopedia de las aves de España*. SEO / BirdLife. Madrid. Recuperado el 30 de octubre de 2017, a partir de <https://www.seo.org/ave/buitre-leonado/>
- XIROUCHAKIS, S. M. (2010). Breeding biology and reproductive performance of Griffon Vultures *Gyps fulvus* on the island of Crete (Greece). *Bird Study*, 57: 213-225.
- ZUBEROGOITIA, Í., J. A. GONZÁLEZ-OREJA, J. E. MARTÍNEZ, J. ZABALA, I. GÓMEZ y P. LÓPEZ-LÓPEZ (2012). Foraging movements of Eurasian griffon vultures (*Gyps fulvus*): Implications for supplementary feeding management. *European Journal of Wildlife Research*, 59: 421-429.

SOBRE EL USO DE ESPELEOTEMAS EN CONSTRUCCIÓN EN EL PIRINEO E IBÉRICA

Pablo MARTÍN-RAMOS¹ | Pilar LAPUENTE² | José Antonio CUCHÍ¹

RESUMEN.— Este artículo presenta alguna información sobre concreciones estalagmíticas y su uso para la construcción en el Pirineo e Ibérica aragoneses.

ABSTRACT.— The present work presents some information about stalagmitic concretions and their use for construction in the Pyrenees and in the Aragonese Iberian System.

KEY WORDS.— Flowstone use, building, underground quarries, Pyrenees, Iberian System mountain range.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años en Aragón ha aumentado el interés por la utilización de materiales líticos en la construcción, como piedra ornamental o incluso para herramientas.

Este artículo analiza el uso de rocas procedentes de procesos de karsificación, a través de la disolución, el transporte y la reprecipitación de

Recepción del original: 4-12-2018

¹ 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, pmr@unizar.es

² Departamento de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, 12. E-50009 ZARAGOZA. plapuent@unizar.es

carbonato cálcico. Estos depósitos se forman tanto en el exterior, dando lugar a las toscas asociadas a muchos manantiales, como en el interior de cavidades, produciendo diversos espeleotemas. Ambos tipos de rocas han sido utilizados en el entorno mediterráneo para estatuaria y como piedra de construcción.

En el Alto Aragón existen abundantes depósitos de tosca (véase, por ejemplo, CUCHÍ y cols., 2013), que, dada su alta porosidad, su baja densidad y la facilidad para el aserrado, ha sido utilizada para la construcción, en bóvedas, arcos y chimeneas del Pirineo y del Prepirineo. Hay abundantes ejemplos de su uso. Uno de ellos, una chimenea en Botaya, se presenta en la figura 1. Por su parte, los espeleotemas habitualmente han sido arrancados para uso decorativo, como en el caso de los utilizados en la fuente del jardín de Lastanosa en la Huesca del siglo XVII (CUCHÍ y cols., 2012). Sin embargo, en alguna ocasión se ha utilizado para usos constructivos. La descripción de varios casos, en las provincias de Huesca y Zaragoza, es el objetivo de este artículo.

ESPELEOTEMAS EN EL PIRINEO Y EN LA CORDILLERA IBÉRICA

Es conocida la existencia de importantes afloramientos de calizas, fundamentalmente marinas, en el Pirineo y en el Sistema Ibérico. Desde su elevación sobre el nivel del mar, estas calizas han experimentado procesos de karstificación con formación de cavidades en las que se han depositado espeleotemas de diversos tipos, incluidas láminas masivas de costras parietales estalagmíticas o *flowstone*.

En ambos sistemas montañosos, además de los espeleotemas en cavidades, aparecen costras laminadas de largos cristales que rellenan total o parcialmente diaclasas verticales. Suelen aflorar por erosión en posiciones topográficas muy elevadas con respecto a los cauces actuales. Así, restos de costras se localizan en las cercanías del castillo de Samitier, en el anticlinal de Mediano; en Montidinerá y Matapaños, en Guara, y en la sierra de Aladrén. Como ejemplo de cavidad en altura, sirva la denominada *cueva de los Cristales*, en Sarsa de Surta, a más de 400 metros por encima de los cauces vecinos, utilizada como lugar de enterramiento en la prehistoria (MONTES y MARTÍNEZ-BEA, 2006; MONTES y cols., 2016a y b).



Fig. 1. Chimenea de tosca en Botaya.

En general, los afloramientos de estos espeleotemas son de pequeñas dimensiones y de naturaleza y color similares a la caliza donde se hospedan, de modo que pasan desapercibidos en el paisaje y solo se aprecian a corta distancia. A modo de ejemplo, se presenta un afloramiento en Peña Ruaba, en el antiguo término de Nasarre, sobre el valle del río Alcanadre.

Afloramiento en Peña Ruaba (Nasarre)

En el Prepirineo, Peña Ruaba forma parte de la alineación que jalona por el norte el espectacular cañón del Alcanadre por Gorgas Negras – Chasa – Bozagal, antes de llegar a la depresión de Rodellar. La estructura geológica está controlada por los pliegues de los estrechos de Balaguer y la fosa de *pull apart* de la pardina de Seral (POCOVÍ y cols., 1990). La morfología es predominantemente kárstica y el paisaje muestra claras superficies antiguas de erosión (RODRÍGUEZ VIDAL, 1986).

Al pie de la pared norte de la cima de Peña Ruaba (ETRS89. 30N; X: 738284; Y: 4687296; Z: 1444 msnm) existe una cornisa muy característica. En ella hay una pequeña cavidad, indicada en las figuras 2 y 3, que fue



Fig. 2. Ubicación de la pequeña cavidad en Peña Ruaba, Nasarre.
(Fotografía y montaje: Enrique Salamero)



Fig. 3. Vista de la posición de la cavidad.
(Fotografía: Enrique Salamero)



Fig. 4. Detalle del afloramiento de costra estalagmítica. La referencia es un frontal de iluminación.

utilizada como refugio por los pastores locales. En su interior, muy cerca de la boca, puede verse una concreción estalagmítica tabular, de unos 40 centímetros de anchura, que corta transversalmente y de forma parcial la cavidad (fig. 4). Muestra un bandeado típico con desarrollo de cristales de escala centimétrica que se muestreó para análisis de rayos X.

Materiales similares se han utilizado para construcción en el Pirineo y la cordillera Ibérica.

CONSTRUCCIONES CON ESPELEOTEMAS EN EL PIRINEO

Como ejemplo del uso de espeleotemas para construcción en el Pirineo, se presentan dos antiguos edificios religiosos.

Ermita de la Virgen de la Sierra de Yaso

La hoy arruinada ermita de la Virgen de la Sierra está situada en la sierra de Guara, en el linde entre las localidades de Yaso y Bastarás (ETRS89. 30N; X: 737191; Y: 4677779; Z: 987 msnm), en el límite del coto cinegético de Bastarás. Se encuentra sobre calizas del Eoceno medio, en el eje meridional del anticlinal de Nasarre, con un exokarst recubierto por canchales periglaciares. Es una modesta edificación, de 9 × 5 metros, dos arcos apuntados de arenisca y ábside recto en bóveda mirando al este-sureste (fig. 5).



Fig. 5. Ermita de la Virgen de la Sierra (Yaso).



Fig. 6. Detalle del muro con costra estalagmítica.



Fig. 7. Detalle de la cabecera de la ermita de la Virgen de la Sierra.

Los sillares de los arcos, en arenisca como ya se ha señalado, han sido transportados desde afloramientos de pie de la sierra. En los muros de la edificación, además de sillarejos de caliza fosilífera del Eoceno, gris en alterado y pardo en corte fresco, destacan sillarejos de costras estalagmíticas (fig. 6), pardas en alterado y más blancas en fresco, sobre todo en el ábside (fig. 7) y en la pared oeste. Pueden alcanzar 0,3 metros de espesor y están constituidas por sucesivas capas de cristales aciculares. Se ha buscado sin éxito la cantera del espeleotema entre la vegetación que cubre los canchales periglaciares de las cercanías, con la imposibilidad de acceso al coto cinegético. Restos de costra que aparecen en la cercana pista pudieran proceder de la propia edificación.

Ermita de la Virgen de Sis

La ermita de la Virgen de Sis es un edificio en una sola nave y cabecera semicircular situado en las laderas de la sierra del mismo nombre, cerca de las Bordas de Beranuy, en el valle del Isábena (ETRS89. 31N; X: 304008;

Y: 4691434; Z: 1339 msnm). Es una sierra singular, de dirección norte-sur, formada por conglomerados fluviales del Eoceno superior y del Oligoceno. De acceso estrictamente peatonal, una parte de sus elementos constructivos como la piedra del altar (fig. 9) y los arcos de las puertas (fig. 10) han sido



Fig. 8. Vista general de la ermita de la Virgen de Sis.



Fig. 9. Altar de la ermita.



Fig. 10. Detalle de la puerta de la ermita.

realizados en una costra estalagmítica de grano fino. Se tomó una muestra pequeña para su análisis. Se desconoce dónde estuvo su cantera, dado que la sierra de Sis es predominantemente conglomerática.

CANTERAS SUBTERRÁNEAS EN RICLA Y ÉPILA

Dada la pobre calidad de la piedra en el entorno inmediato de la ciudad de Zaragoza, la búsqueda de materiales de calidad para las obras clave llevó al borde Mesozoico de la Ibérica, donde se canteó piedra en localidades como La Puebla de Albortón, Muel y Calatorao. En las cercanías de La Almunia de Doña Godina, aunque en el término municipal de Ricla, está la denominada *Sima del Mármol de Ricla*, que abre en materiales del Jurásico zaragozano. Sorprende el nombre, en un terreno sin metamorfismo conocido y la existencia de sillares labrados en su interior. Además, gracias al excelente trabajo de GISBERT y PASTOR (2009), se tuvo conocimiento de la existencia de otras cavidades con sillares de grandes dimensiones en el término municipal de Épila.

Sima del Mármol de Ricla

Está situada en el Alto de la Perdiz, en el término municipal de Ricla. Conocida de antiguo por los vecinos de la zona, fue visitada en julio de 1902 por el jesuita Longinos Navás, quien la describió y realizó la primera topografía (NAVÁS, 1903; MIRET, 1995). La descripción más completa y reciente de esta cavidad se encuentra en GISBERT y PASTOR (2009: 414-417). Hoy la cueva, de acceso restringido, es un Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) por la existencia de murciélagos. La presencia de espeleotemas, con cristales relativamente grandes, ha dado nombre a la cavidad, donde evidentemente no hay mármol propiamente dicho. En algún momento, la cavidad fue transformada en cantera y la entrada inicial se modificó artificialmente para mejorar el acceso a una primera sala, que recibe algo de luz natural. En esta (fig. 11, arriba, izquierda) se encuentran una decena de grandes sillares de concreción de tamaño métrico. De la sala mencionada, se desciende en rampa hacia dos galerías. En el talud oeste, con cierta pendiente, se localizan algunos sillares más modestos, tal vez rodados (fig. 11, arriba, derecha). Alguno de ellos presenta numeración en la pintura (fig. 11, centro, izquierda). En el fondo de esta galería hay una acumulación de arcilla de descalcificación y se observan



Fig. 11. Sima del Marmol de Ricla. Arriba, izquierda: sillares en la sala central. Arriba, derecha: pequeños sillares en la sala oeste. Centro, izquierda: sillar numerado en la rampa de acceso a la sala oeste. Centro, derecha: sillar partido en la sala. Abajo, izquierda: frente de la cantera en la sala este con diversas rozas de cortafros. Abajo, derecha: espeleotema parietal sin cantar en la sala este.

restos de talla de una caliza micrítica oscura. Como se verá más adelante, en esta galería hay alguna evidencia de que se han extraído artificialmente espeleotemas en esta zona.

Por el contrario, desde la sala central se desciende con mayor suavidad a la galería este por una rampa entre dos paredes de piedra seca, básicamente fragmentos de espeleotemas, para acceder a una primera sala con algún bloque fracturado (fig. 11, centro, derecha). Hacia el norte de la sala está la zona de extracción, donde se observan entalladuras de extracción, aparentemente por puntero (fig. 11, abajo, izquierda). Una gran estalagmita central muestra una acanaladura artificial en su lado norte. Por el contrario, la pared sur no parece haber sido trabajada (fig. 11, abajo, derecha).

Se plantean dos preguntas sobre para qué y cuándo se extrajeron los espeleotemas. Las dimensiones de los sillares, algunos con acabado a puntero y

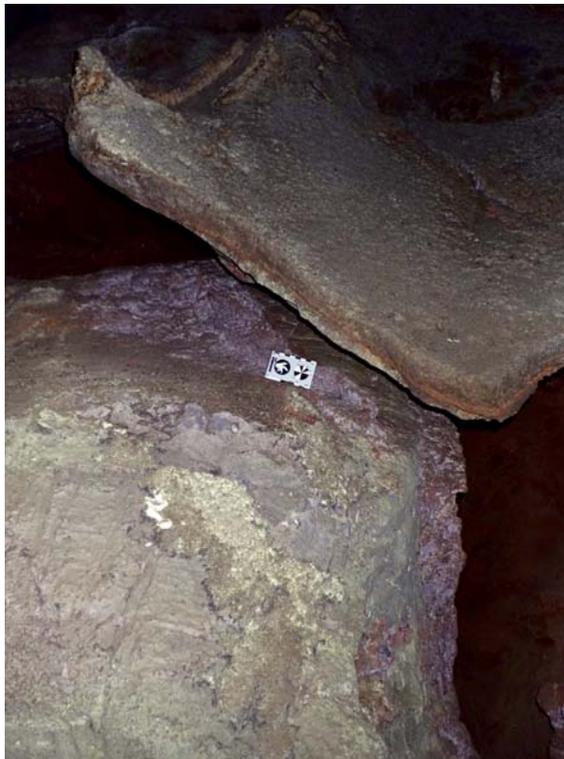


Fig. 12. Sima del Mármol de Ricla. Galería oeste. Recorte de costra estalagmítica sobre roca.



Fig. 13. Muestra de concreción de la Sima del Mármol de Ricla.
Cristales del orden de los 0,5 centímetros.

numerados, sugieren un uso en construcción, tal vez para un edificio monumental. Sin embargo, como muestran los bloques rotos, se trata de una piedra blanda, con probable baja resistencia a la compresión. El calatorense Pedro Anía, escultor e hijo de cantero, que visitó la sima con su padre, considera que la piedra en cuestión solo es utilizable con fines ornamentales menores.

NAVÁS (1903), conocido entomólogo y minucioso descriptor, no menciona las actividades de cantería en su visita. Desde luego, la entrada artificial se ha realizado mediante dinamita y alguna huella de extracción parece reciente. Esto sugiere una fase de cantería en la primera mitad del siglo XX. Sin embargo, es posible que hubiera una extracción más antigua como el recorte de la costra estalagmítica (fig. 12). Es evidente que la extracción de piedra en esta cavidad pudiera necesitar un estudio más detallado.

Se tomaron muestras (fig. 13) de un resto de sillar, hoy en la valla de la cavidad para su análisis mediante rayos X, y se ha determinado su densidad mediante un picnómetro. Los trozos más impuros y amorfos daban una densidad de $2,54 \text{ t/m}^3$, y los trozos más cristalinos, de $2,83 \text{ t/m}^3$. Son valores del orden admitido para la calcita.

Cueva del Gato (Épila)

Situada en el término municipal de Épila, en la sierra de Monegré, ladera sur del Cabezo del Gato, se encuentra cercana al santuario de la Virgen de Rodanas y a las minas de la Esperanza. Conocida y visitada de antiguo, ya listada en el siglo XIX, la cueva fue topografiada en 1972 por el Grupo de Espeleología Martel de Zaragoza. La descripción más completa se encuentra en GISBERT y PASTOR (2009: 390-394). Consta de dos salas unidas. La más elevada es una dolina de hundimiento. Desde ella se desciende, a través de una rampa, a una segunda sala. A esta se accede hoy por una corta galería artificial.

La cavidad, accesible de antiguo con alguna dificultad, fue habitada originalmente a través del hundimiento de la bóveda. Un camino de acceso hasta esta boca sugiere la extracción de sillares por la misma y el uso de la cavidad como cantera de trabajos forzados. En algún momento de la primera mitad del siglo XX se abrió una nueva boca, aparentemente para extraer sillares y otro material calcáreo, actividad que se prolongó hasta la década de 1960 (GISBERT y PASTOR, 2009: 391). Hoy quedan unos treinta sillares tallados en la roca en la cavidad (figs. 14a y b). Algún sillar está numerado con pintura (fig. 14c). La sala superior muestra huellas de extracción en la costra espeleotémica de las paredes norte y oeste de la sala superior (fig. 14d), donde se observan huellas de barrones y alguna entalladura, tal vez para cuñas (fig. 14e). En la sala inferior, con su fácil salida artificial, se observa que la extracción de piedra se realizó de forma más agresiva, y quedan algunos bloques irregulares masivos de espeleotemas arrancados por voladura (fig. 14f). Es posible que el material fragmentado se utilizara para terrazo o para fabricar cal, por calcinación, para la azucarera de Épila, cerrada en 1968. Hay constancia de una autorización para usar pólvora a la Sociedad Mármoles de Épila, en 1937 (ES/AHPZ – A/008794/0108). Además, hay canteras recientes al aire libre junto a la cueva del Gato.

Cuevas de Sillares I y II

Son dos cuevas contiguas, situadas muy cerca de la cueva del Gato. Como en los casos anteriores, la descripción más completa se encuentra en GISBERT y PASTOR (2009: 381-385). Además, Sillares II ha sido objeto de estudio arqueológico por BLASCO y RODANÉS (2011).



Fig. 14. Sima del Gato. *a)* Vista general de la sala superior; *b)* sillares en la rampa entre salas; *c)* sillar numerado; *d)* marcas de extracción en concreción, en la sala superior; *e)* posible entalle para cuña de grandes dimensiones en la sala superior; *f)* bloque cortado de espeleotema en la sala inferior.



Fig. 15. Cueva de Sillares. Arriba, izquierda: sillares acabados. Arriba, derecha: huellas de cuñas en un bloque de Sillares I. Abajo, izquierda: marca tallada en Sillares II. Abajo, derecha: sillares al pie de la ladera.

En Sillares I se encuentran aproximadamente sesenta sillares tallados a puntero y algunos bloques de dimensiones métricas de caliza de la cavidad (fig. 15, arriba, izquierda). Algunos de ellos también presentan un número pintado. En un sillar del fondo se ven huecos para cuñas, para cortar un bloque (fig. 15, arriba, derecha). Aparentemente se han tallado de un estrato quizás parcialmente despegado del techo.

En la cueva de Sillares II no parece haberse extraído piedra, aunque BLASCO y RODANÉS (2011) sospechan que se realizó algún tipo de sondeo a partir de la visita de José Bueno, un antiguo cantero. Se ha observado una marca realizada con un útil en una de las paredes de la cavidad (fig. 15,

abajo, izquierda). Como el utillaje de cantería prácticamente no se ha modificado desde el mundo clásico grecorromano hasta épocas muy recientes, es difícil asignar una edad. Basta con ver las herramientas que se presentan en LASTANOSA (ca. 1570: 17, 252v).

Por último, hay que indicar que en la ladera, al pie de la cavidad, hay media docena de sillares rodados (fig. 15, abajo, derecha). Sugieren un inicio de transporte, inacabado por razón hoy desconocida.

MINERALOGÍA DE LAS CONCRECIONES

Para caracterizar este material se tomaron tres muestras de concreción —Peña Ruaba, ermita de Sis y mármol de Ricla—, que se han analizado en un difractómetro de polvo Bruker D8 Advance (Billerica, Massachusetts, Estados Unidos) en configuración Bragg-Brentano θ - 2θ , trabajando con radiación de rayos X Cu $K\alpha 1$ ($\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$) y con detector PSD Lynx-eye.

Los difractogramas se presentan en las figuras 16 a 18. En los tres casos, las gráficas son muy similares y queda patente que se trata de calcita de alta

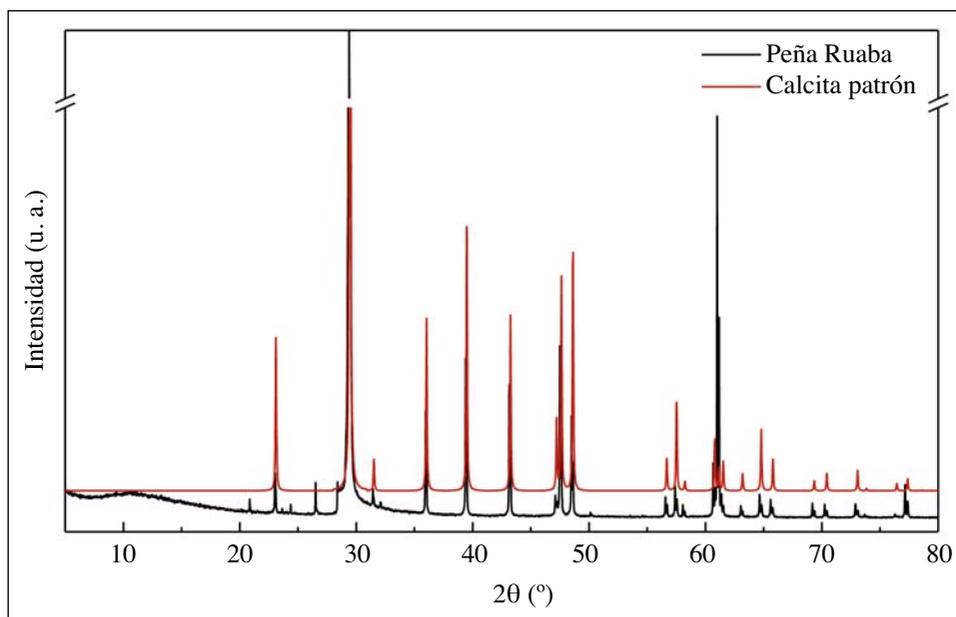


Fig. 16. Difractograma de rayos X de la muestra de Peña Ruaba.

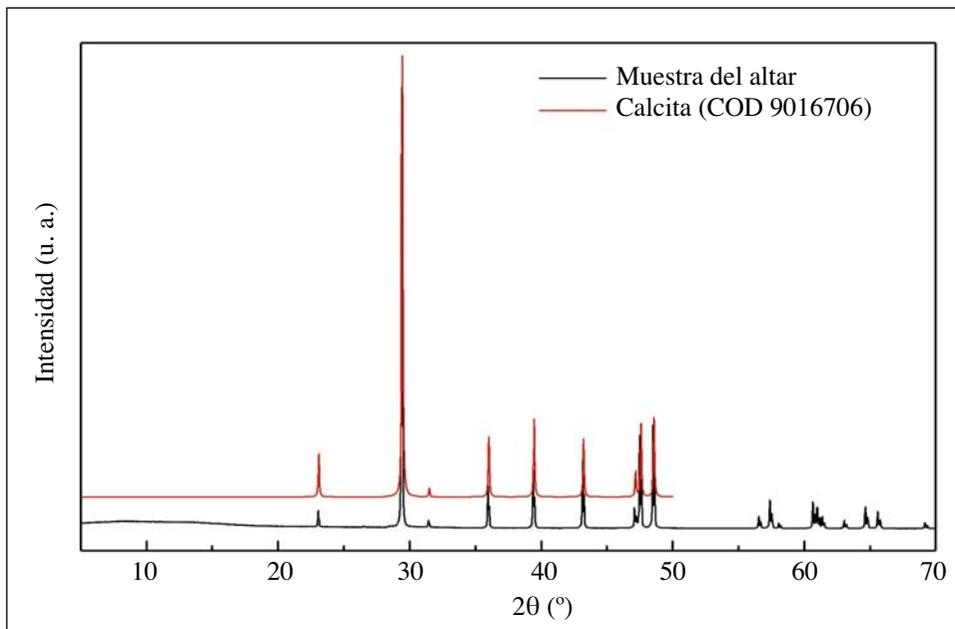


Fig. 17. Difractograma de rayos X de la muestra del altar de la ermita de la Virgen de Sis.

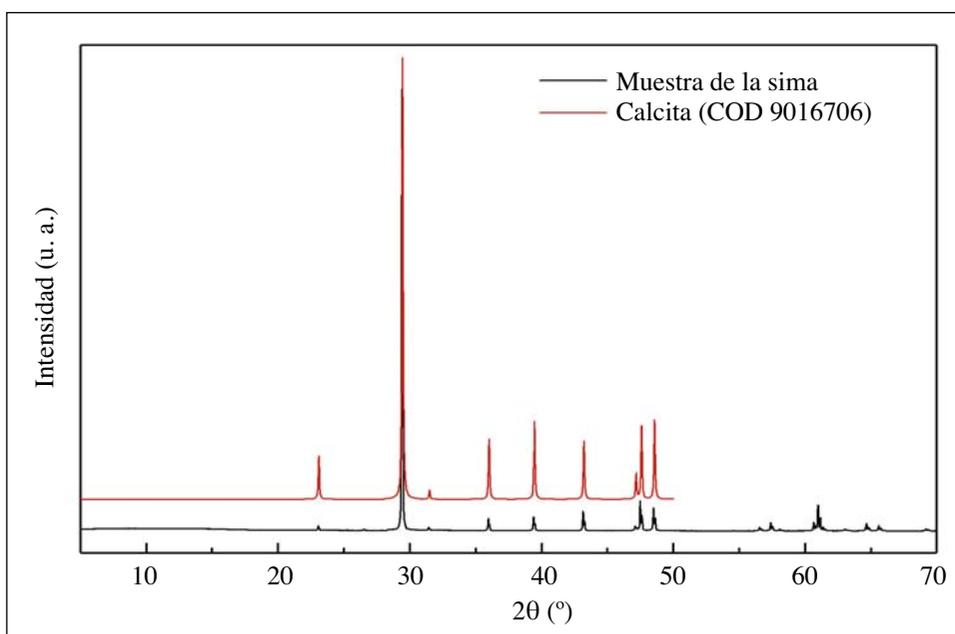


Fig. 18. Difractograma de rayos X de la muestra de la Sima del Mármol (Ricla).

pureza, prácticamente equivalente al patrón de referencia. El resultado es coherente con la recristalización y el enriquecimiento en calcita que generan los espeleotemas de los procesos kársticos.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El artículo se ha centrado en algunos ejemplos de utilización de espeleotemas de calcita, en Huesca y en Zaragoza, para la construcción. Hasta ahora en el Alto Aragón este material no parece haberse referenciado. Resulta sugerente su presencia en la piedra superior del altar de la ermita de Sis, quizás escogida por su parecido con el mármol.

En la cordillera Ibérica, es evidente por las marcas de cantería que costas estalagmíticas fueron extraídas en la Sima del Mármol de Ricla y en la cueva del Gato de Épila. Desde luego, en la primera se tallaron sillares de espeleotemas de tamaño métrico. Se ignora para qué se usaron, aunque en opinión del experto citado parece que la piedra en cuestión solo es utilizable con fines ornamentales menores. No se ha localizado uso de esta piedra en la ermita de Rodanas, en la torre de La Mareca y en la iglesia de Nuestra Señora de la Asunción de La Almunia de Doña Godina. En estas, ciertos elementos de prestigio están realizados en alabastro y en piedra de Calatorao.

De forma inversa, es posible que hubiera alguna pieza realizada en espeleotemas que se confunda con alabastro, *sensu stricto*. Hay que señalar que los espeleotemas se han utilizado en el Mediterráneo oriental como material ornamental, habiendo recibido los nombres de *alabastro calcítico*, *travertino* o *egiptian alabaster*. El alabastro egipcio aparece en filones como reprecipitación de calcita dentro de calizas karstificadas del Eoceno (KLEMM y KLEMM, 2001 y 2008). También, en algunos casos, ha sido explotado dentro de cavidades (FRUMKIN y cols., 2014). Existe constancia de la amplia utilización del alabastro calcítico en el Egipto faraónico, desde vasijas y sarcófagos hasta estatuas colosales; así como en época romana, en diversos elementos constructivos hallados en Italia, en el norte de África, en la actual Turquía y en Egipto (LAZZARINI y cols., 2012).

En las cuevas de Épila queda clara la extracción de espeleotemas, pero los sillares que se encuentran en ellas no son de este tipo de piedra. Es interesante la existencia de estas canteras, que no pueden calificarse

estrictamente como canteras subterráneas sino como canteras en cueva, posiblemente para combatir las inclemencias del tiempo.

De forma complementaria hay que reseñar la utilización de las canteras de Épila ya citadas en *Los XXI libros del Pseudojuanelo* (LASTANOSA, ca. 1570). Es sabido que piedra de esta localidad se usó en la casa del conde de Morata (Audiencia Provincial de Zaragoza) por parte del cantero Juan de Vidaina, vecino de Épila (GÓMEZ URDÁÑEZ, 1985: 54). También hay información de que se cortó piedra de esta localidad durante el siglo XIX, incluso por penados, para el puente de Piedra (Archivo de Zaragoza, ES 50297. AM-000499 y 000918).

Como tantas veces, parece evidente que diversos temas que aparecen en el presente artículo merecen un análisis más específico.

AGRADECIMIENTOS

En este trabajo han participado muchas personas, a las que agradecemos su esfuerzo. Con Anabel Moreno y Enrique Salamero se realizó la visita al tozal de Nasarre. A través del programa *Paso a Paso* del Club Peña Guara, se accedió a la ermita de Sis. Con Rafael Larma y José Luis Villarroel se realizó un primer intento de visita a la Sima del Mármol de Ricla. Mario Gisbert, coautor con Marcos Pastor de un imprescindible libro sobre las cuevas zaragozanas, señaló las cuevas con sillares de Épila. José María Rodanés, de la Universidad de Zaragoza, nos documentó sobre sus excavaciones en la cueva de Sillares II. Ha sido muy interesante profundizar en la temática de las canteras de la Ibérica. El APN José María Soriano nos acompañó a la Sima del Mármol de Ricla. Con su colega Roberto del Val, cuya ayuda ha sido inestimable, recorrimos las cuevas con sillares de Épila. Como era evidente y necesario, mucha de la información sobre las canteras subterráneas ha salido de Calatorao, por la amable colaboración de Fernando López Morfioli, del cantero José Luis Fondón (CIM) y, sobre todo, del escultor Pedro Anía, hijo de cantero, hoy residente en San Lorenzo del Flumen. De Épila también nos han auxiliado Alfonso Bueno, también hijo de cantero, y sobre todo los arquitectos técnicos Alfredo Ruiz y su hija Irene, esta última hoy en el Politécnico de Turín. Irene Ruiz, el arquitecto Javier Borobio y Javier Rey, técnico de Patrimonio del Gobierno de Aragón,

nos han asistido en la búsqueda de usos de esta piedra en Zaragoza. Por último, Manuel González Ríos, del Museo Andaluz de la Espeleología, aportó parte de la bibliografía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLASCO, M.^a F., y J. M.^a RODANÉS (2011). *Excavaciones en la cueva del Gato 2 (Épila, Zaragoza). Campaña 2011*. Informe inédito. 6 pp.
- CUCHÍ, J. A., C. GARCÉS, J. L. VILLARROEL, R. LARMA y J. ANGULO (2012). Vincencio Juan de Lastanosa y Lorenzo Agüesca: protoespeleólogos del siglo XVII en el Alto Aragón. En J. J. Durán y P. A. Robledo (eds.), *Las cuevas turísticas como activos económicos: conservación e innovación*: 287-298. Asociación de Cuevas Turísticas Españolas. Madrid.
- CUCHÍ, J. A., J. L. VILLARROEL, R. DOMINGO, L. MONTES y C. OLIVÁN (2013). El edificio tobáceo de Isarre (Santolaria la Mayor, Huesca). *Lucas Mallada*, 15: 85-97.
- FRUMKIN, A., M. BAR-MATTHEWS, U. DAVIDOVICH, B. LANGFORD, M. ULLMAN y B. ZIS-SU (2014). In-situ dating of ancient quarries and the source of flowstone ('calcite-alabaster') artifacts in the southern Levant. *Journal of Archaeological Science*, 41: 749-758.
- GISBERT, M., y M. PASTOR (2009). *Cuevas y simas de la provincia de Zaragoza*. Centro de Espeleología de Aragón. Zaragoza. 480 pp.
- GÓMEZ URDÁÑEZ, C. (1985). Fundamentos de la omnipresencia del ladrillo en la arquitectura zaragozana del siglo XVI o los problemas del uso de la piedra en la construcción. *Artigrama*, 2: 47-56.
- KLEMM, D. D., y R. KLEMM (2001). The building stones of ancient Egypt –a gift of its geology. *Journal of African Earth Sciences*, 33 (3-4): 631-642.
- KLEMM, R., y D. D. KLEMM (2008). *Stone and stone quarries in Ancient Egypt*. British Museum Publications Ltd. Londres. 354 pp.
- LASTANOSA, P. J. (ca. 1570). *Los veinte y un libros de los ingenios y máquinas de Juanelo, los cuales me mandó escribir y demostrar el Chatólico Rei D. Felipe Segundo Rey de las Españas y nuevo mundo*. Manuscrito. Biblioteca Nacional de Madrid, ms. 3372/3376.
- LAZZARINI, L., D. VISONÀ, M. GIAMELLO e I. VILLA (2012). Archaeometric characterisation of one Tunisian and two Italian calcareous alabasters used in antiquity. En *Proceedings of the IX ASMOSIA, International Conference of the Association for the Study of Marbles and Other Stones in Antiquity*: 436-444. Tarragona.
- MIRET, F. (1995). Lucas Mallada y Longinos Navás (precursores en el siglo XIX). *Boletín del Museo Andaluz de la Espeleología*, 9: 25-31.
- MONTES, L., y M. MARTÍNEZ-BEA (2006). El yacimiento campaniforme de cueva Dróllica. *Saldvie*, 6: 297-316.

- MONTES, L., R. DOMINGO, M. SEBASTIÁN y P. LANÁU (2016a). ¿Construyendo un paisaje? Megalitos, arte esquemático y cabañeras en el Pirineo central. *Arqueología y Prehistoria del Interior Peninsular*, 4: 248-263.
- MONTES, L., M. MARTÍNEZ-BEA, R. DOMINGO, P. SÁNCHEZ, M. ALCOLEA y M. SEBASTIÁN (2016b). La gestión prehistórica de un territorio en la montaña prepirenaica: Tierra Bucho (Huesca, España). *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 67: 349-362.
- NAVÁS, L. (1903). La cueva de la Sima de Ricla (Zaragoza). *Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural*, 3: 62-65.
- POCOVÍ, Á., H. MILLÁN, J. J. NAVARRO, M.^a B. MARTÍNEZ PEÑA, J. A. CUCHÍ y J. MALAGÓN (1990). La Chasa de Rodellar desde el punto de vista de la Geología Estructural. *Lucas Mallada*, 2: 199-219.
- RODRÍGUEZ VIDAL, J. (1986). *Geomorfología de las Sierras Exteriores oscenses y su piedemonte*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 4). Huesca. 493 pp.

ETOLOGÍA DE LAS GRULLAS (*GRUS GRUS*) EN LA ALBERCA DE ALBORÉ (MONTMESA, HUESCA)

Pablo VALLÉS¹

RESUMEN.— El artículo presenta aspectos de la etología de las grullas (*Grus grus*) en la alberca de Alboré, especialmente en temas de predación.

ABSTRACT.— The present work presents aspects of the ethology of cranes (*Grus grus*) in the Alboré pool, especially in predation topics.

KEY WORDS.—Ethology, crane, *Grus grus*, Alboré lake, Montmesa, Huesca (Spain).

INTRODUCCIÓN

La alberca de Alboré es la parte más al norte del actual embalse de La Sotonera, en el municipio de Montmesa, dentro de la comarca de la Hoya de Huesca, en plena depresión del Ebro, pero próxima a las Sierras Exteriores pirenaicas. Mantiene aguas poco profundas, ideales para la avifauna.

Probablemente, fue desde época romana cuando la especie humana decidió embalsar el agua de los ríos Sotón y Astón en varias pequeñas albercas (fig. 1), aprovechando las arcillas impermeables del Mioceno en la depresión del Ebro. Empleando sus aguas, las grullas (*Grus grus*) ya utilizarían

Recepción del original: 12-12-2018

¹ huescanaturaleza@gmail.com

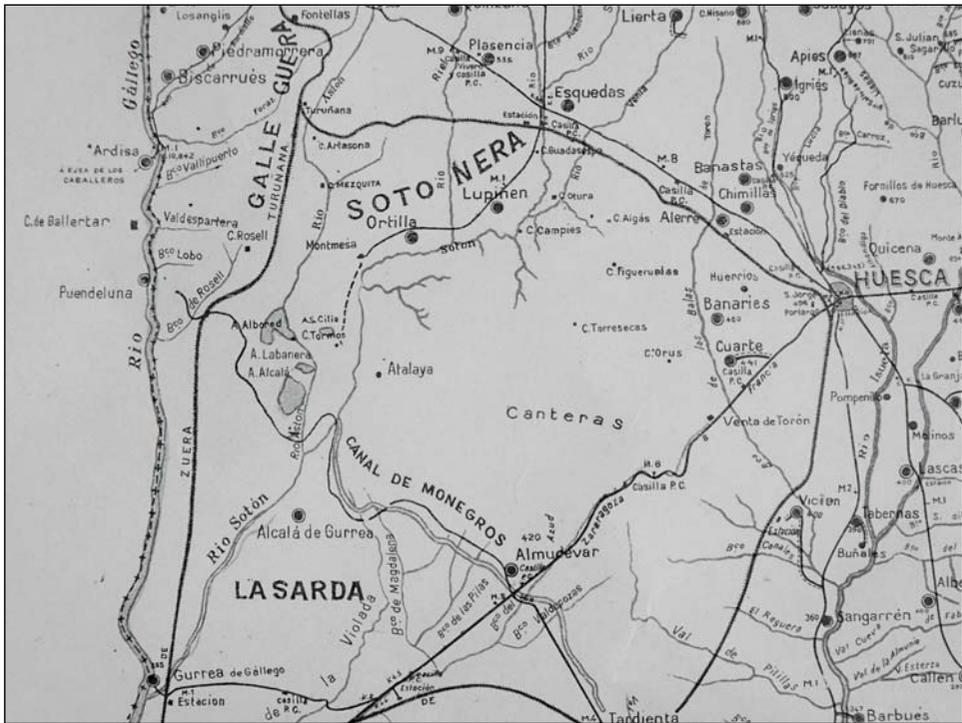


Fig. 1. Mapa de las albercas en la zona de estudio, antes de la construcción del embalse de La Sotonera.

este lugar como sitio de reposo en sus vuelos migratorios de finales de febrero hacia el norte del continente (MOOSER y WOUTERSEN, 2015; ROMÁN, 2018).

Mucho ha cambiado en dos mil años el aspecto de la alberca y de sus alrededores en cuanto a vegetación y cultivos, pero en este artículo vamos a intentar describir el cambio de comportamiento que han realizado en las últimas décadas las grullas comunes que eligen este lugar de la comarca de la Hoya de Huesca como paraje de descanso.

LA GRULLA COMÚN (*GRUS GRUS*)

Es un ave grande. Mide más de 1 metro de alzado, tiene 2,20 metros de envergadura alar y alcanza hasta los 6 kilos de peso. Estas características constituyen un problema, ya que despiertan el deseo de múltiples depredadores

que intentan darles caza para alimentarse con tan codiciada presa, en especial la especie humana. De las quince especies de grullas existentes (fig. 2), solo la europea (*Grus grus*) se está salvando de la extinción.

La utilización de zonas encharcadas para descansar viene provocada por la seguridad que les produce el escuchar el chapoteo de los depredadores al acceder al agua. Sus lugares favoritos son zonas de aguas poco profundas donde poder alejarse de la orilla un buen grupo de ejemplares.

Muy social y gran migradora, sus vuelos en grupo y sonoros trompeteos, que recorren el continente, hacen que sea un ave conocida y estudiada desde la prehistoria. Ya Aristóteles explicaba que cuando las grullas duermen en las lagunas siempre hay alguna que descansa vigilando con una piedra en la pata encogida para que, en caso de dormirse, la piedra al caer la despierte



Fig. 2. Detalle de la cabeza de las quince especies diferentes que existen en el planeta.

inmediatamente. Más tarde Plutarco y Plinio el Viejo dieron por buena esta observación, que llega prácticamente como una creencia aceptada hasta nuestros días. Esta anécdota, además de recordarnos que Aristóteles era un naturalista nefasto, pero con una imaginación increíble, nos hace recapacitar sobre el hecho de que la especie a la que dedicamos este artículo siempre ha llamado nuestra atención.

Hoy en día se ha convertido en símbolo de paz y buena suerte y de unión entre países y continentes.

Grus grus cría en el norte del continente europeo entre abril y septiembre, en humedales y zonas encharcadas donde puede construir un gran nido sobre plataformas e islas rodeadas de agua a salvo de depredadores. Normalmente tiene dos pollos, y raramente tres. A finales de septiembre las familias, que permanecerán siempre unidas, comienzan a juntarse en bandos cada vez más grandes para emprender durante los meses de octubre y noviembre un viaje de miles de kilómetros hacia el sur del continente.

La implantación de los más modernos dispositivos de GPS introducidos en los últimos años, además del tradicional marcaje con anillas en los pollos,



Fig. 3. Pollo del año marcado con anillas y GPS en las patas. (Fotografía: A. Unus)



Fig. 4. Ruta de un pollo marcado.

En morado, trayecto de un solo día durante la migración otoñal.

nos están aportando nuevos y desconocidos datos sobre las rutas de migración, las velocidades, las alturas de vuelo y las distancias (figs. 3 y 4).

Su necesidad de viajar viene provocada por la cantidad de horas solares diarias en las latitudes donde cría, que le impiden, debido a su gran tamaño, poder alimentarse suficientemente. Viajando al sur, al coincidir con la maduración de los frutos de las encinas (*Quercus ilex*), que son altamente nutritivos, y por la duración más larga de los días, encuentran solución al problema de la alimentación invernal.

Por eso las mayores concentraciones invernales de estas aves históricamente se dan en el suroeste de la península ibérica, y especialmente en las dehesas extremeñas. Pocas, cada vez menos, decidirán pasar hasta África por el riesgo que supone para la supervivencia de los pollos. Esta migración se alarga durante cuatro meses siendo muy escalonada en el tiempo.

La migración otoñal es poco representativa en la alberca de Alboré debido a que, al viajar con vientos a favor y poder escalonar el viaje, la mayor

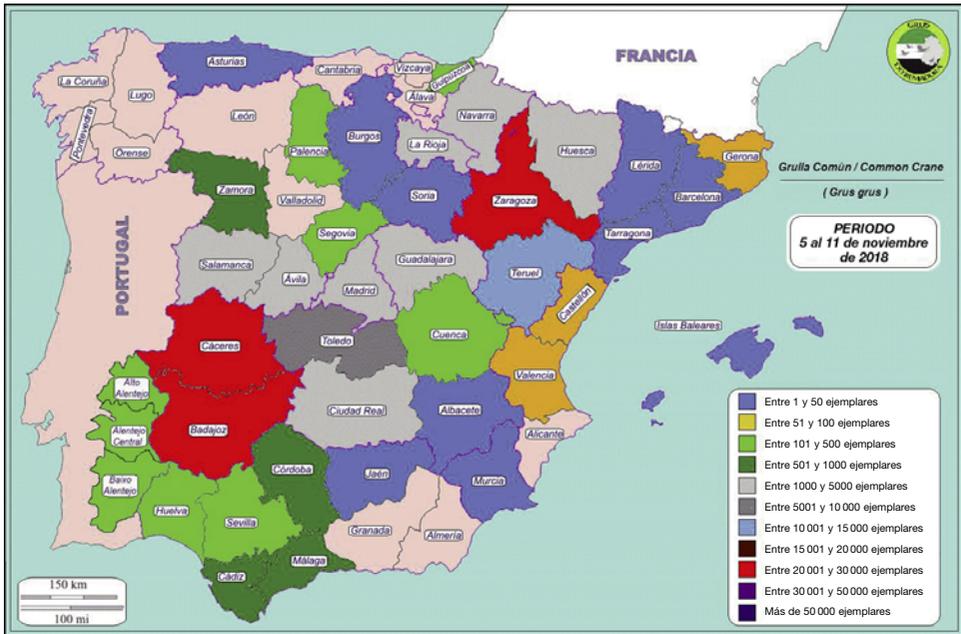


Fig. 5. Mapa de la distribución de *Grus grus* a primeros de noviembre de 2018. (Grus Extremadura)

parte de las grullas invernantes de la península atraviesan los Pirineos por la Comunidad Foral de Navarra a menores altitudes que en Huesca. Supone que, tradicionalmente, las grullas ignoren el humedal de Alboré y descansen directamente en Gallocanta (fig. 5).

LAS GRULLAS EN LA ALBERCA DE ALBORÉ DURANTE LA MIGRACIÓN PRIMAVERAL

La situación geográfica de la alberca de Alboré, en plena depresión del Ebro pero cercana a la barrera montañosa de las Sierras Exteriores, y la escasa profundidad de sus aguas han supuesto que desde hace tiempo sea un lugar elegido por las grullas en el momento de la migración primaveral. Este periodo se inicia en torno al 15 de febrero y dura hasta finales de marzo. Pasadas estas fechas, los ejemplares que veremos por la alberca serán jóvenes no reproductores que no han sentido la revolución hormonal en sus cuerpos. A diferencia de la migración otoñal, que como hemos explicado

viene motivada por la escasez de alimentos, la primavera se da por la subida hormonal que provoca la fotosensibilidad de muchas aves, que les avisa de cuál es el momento de buscar un lugar para reproducirse. Por este motivo todos los años, y en un corto periodo de tiempo, ese es el momento cumbre de la utilización del humedal por parte de las grullas.

Por otra parte, la necesaria estancia en este espacio natural es debida a la presencia de frentes atlánticos y vientos del norte, habituales en esta época del año, que les impide mantener la economía de la línea recta desde Gallocanta hacia las Landas francesas por encima del Pirineo navarro y les obliga a desviarse por los Pirineos centrales, más altos e incómodos de cruzar. Es en ese momento cuando la alberca de Alboré se convierte en un lugar importantísimo para las grullas, donde descansar el día más complejo de todos los que pasarán durante los miles de kilómetros de su viaje migratorio (fig. 6).

Durante esta época de migración, las grullas que descansan por la noche realizan los mismos rituales cada mañana. Al amanecer salen del agua sin realizar vuelos, para evitar la pérdida de temperatura corporal que supondría hacerlo con las patas mojadas, y se sitúan en los campos localizados al norte del dormidero de la alberca.

El día lo comienzan acicalando las plumas y comprobando las condiciones meteorológicas. Si el día amanece con viento norte, deciden iniciar la migración en torno a las 9:30 horas porque con esas condiciones van a necesitar más esfuerzo y horas de vuelo para realizar el paso por los Pirineos.

También decidirán el lugar por el que atravesar las Sierras Exteriores dependiendo de la intensidad del viento. Sin viento cruzan recto por encima de la sierra de Loarre; con viento moderado se desplazan hacia el oeste a buscar el paso natural del río Gállego, donde el lugar les permite no alcanzar tanta altura y los vientos son más flojos que en altura. Sin embargo, si el viento norte es fuerte, las arrastrará hacia el este y podrán alejarse más allá de la sierra de Guara. De todas formas, hay que hacer notar que en la toma de decisión de por dónde cruzar los Pirineos parece que influye mucho el conocimiento adquirido con anterioridad por las grullas más expertas que guían la bandada.



Figs. 7 y 8. Convergencia evolutiva de las siluetas de dos grandes voladores con corrientes térmicas: grulla común y buitre leonado. (Fotografías: P. Vallés)

Si las condiciones meteorológicas son de ausencia absoluta de viento, el inicio de la migración cambia. Las grullas van entonces a esperar la formación de corrientes térmicas que a finales de febrero en la lámina de agua de la alberca se generan a las 11:40 horas, aproximadamente, iniciando en ese momento vuelos circulares para coger altura (ciclar) sobre las corrientes de aire caliente y sobrepasar las montañas pirenaicas a más de 300 metros de altura, con menos esfuerzo que si tuvieran que hacerlo sin ayuda de las térmicas.

La silueta de la grulla ya nos permite intuir la importancia de este tipo de vuelo. Su envergadura y, sobre todo, la superficie alar, unida a la escasa longitud de las plumas rectrices de la cola, nos recuerdan a las de otras aves que son especialistas en el vuelo con térmicas, por ejemplo los buitres (figs. 7 y 8).

Esta convergencia evolutiva se da también en el uso de los infrasonidos producidos por el aire caliente al ascender, técnica que les permite a las dos especies localizar a través del oído las corrientes térmicas que les posibilitarán volar con una eficiencia energética superior a otras aves.

La práctica ausencia de timón al acortar las plumas directrices de la cola para mejorar la eficiencia en el vuelo provoca también que existan dos formas de descender al dormitorio de la alberca cuando llegan a mucha altura procedentes de Gallocanta. Mientras unas deciden ciclar en círculos perdiendo altura, otras deciden pasar de largo hasta las Sierras

Exteriores y volver perdiendo altura poco a poco. Este comportamiento nos puede llevar a equívoco con las grullas que optan por continuar el viaje migratorio y atravesar los Pirineos en vuelo directo, sin descanso en el humedal.

En muchos días del momento de la migración las condiciones meteorológicas impiden el paso de la cordillera y las grullas tienen que regresar a la alberca de Alboré, juntándose con las que vienen de Gallocanta. Si estas condiciones se repiten durante varios días, las concentraciones en el dormitorio de Montmesa pueden llegar a ser de hasta 82 000 ejemplares, cifra récord alcanzada el 3 de marzo de 2015. Si las condiciones adversas se mantienen muchas veces, tomarán la decisión de volar.

En los últimos años se están realizando estudios que demuestran que las grullas forman en estos dormitorios comunales la organización de los bandos para realizar los grandes vuelos migratorios juntos, dependiendo del lugar donde se desplacen para ubicar sus nidos. Así, las grullas escandinavas preferirían formar bandos con otras grullas escandinavas antes que con grullas lituanas o rusas dado que sus rutas se separarían antes de llegar a destino. Se cree que pudiera ser la variedad dialectal del trompeteo la que les podría servir para descubrir el destino final de las demás grullas, y así permitir a la familia elegir en qué bando integrarse para realizar tan largo y arriesgado viaje.

El hecho de que, cuanto más grande sea el bando, más seguridad y ahorro energético durante el vuelo puede estar detrás también de un comportamiento observado durante los días de migración primaveral en Alboré. Son las que llamamos *grullas guía*, aquellas que incitan a volar a las demás con trompeteos enérgicos y excitados, y que acompañan a los bandos asegurándose del paso de las Sierras Exteriores para regresar en solitario a por más bandos, hasta comprobar que no queda ninguna rezagada o más perezosa.

LA INVERNADA DE LA GRULLA COMÚN EN LA ALBERCA DE ALBORÉ

En la última década se ha observado en toda Europa un cambio de comportamiento muy importante en estas aves provocado por los cambios de cultivos en todo el continente. Las grandes multinacionales de la agricultura

han fomentado los cultivos de maíz y arroz, junto con el cambio de la siembra tradicional del cereal de invierno por la siembra directa, donde prima la eficacia por delante de otras consideraciones.

En pocos años las grullas han descubierto durante sus viajes migratorios por toda Europa que cerca de los tradicionales dormideros repartidos en el trayecto existía un recurso alimenticio nuevo, el rastrojo de maíz, que además coincide en el tiempo con el inicio de la siembra directa. El primero es un alimento altamente nutritivo y la segunda técnica permite, al dejar el grano muy cerca de la superficie, el acceso de las aves a la semilla.

Este hecho provoca que muchas grullas decidan quedarse en lugares en los que antes no había presencia de esta especie en invierno, llegando cada año más ejemplares a no pasar la barrera de los Pirineos.

Ambos alimentos están seleccionados genéticamente y tratados con productos químicos, por lo que será interesante un estudio específico para saber cómo puede afectar su consumo a las grullas en el futuro.

Este cambio ha sido muy rápido, ya que son aves muy inteligentes y con una alta capacidad de transmisión de información. En el territorio que nos ocupa, el fenómeno se comienza a observar en 2009, aumentando cada año la presencia de ejemplares invernantes de grulla común en la alberca de Alboré desde finales de octubre y hasta la migración primaveral.

Las grullas se alimentan, durante los inviernos, de la siembra directa en los campos del entorno de Montmesa, sobre todo en los meses de noviembre y diciembre (época de siembra), con poblaciones que fluctúan dependiendo de la duración de esta labor agrícola. Por ejemplo, en 2015 el censo de grullas en diciembre arrojó la cifra de 4200 ejemplares, que descendió a 1500 en enero, en el momento en que cesaron los trabajos de siembra. Estos ejemplares, que permanecen en enero y en febrero, utilizan el dormidero de la alberca, pero se desplazan diariamente a muchos kilómetros para alimentarse en los arrozales del entorno de Selgua y Sariñena. Sin embargo, las lluvias producidas durante el otoño de 2016 provocaron el escalonamiento de la siembra, y el pico máximo de ejemplares se produjo el 20 de enero de 2017 con 11 000 grullas. Ese mismo día, en Gallocanta, lugar tradicional de invernada, había 13 727 aves.

Llevamos años observando esta relación directa entre las grullas y el alimento disponible, lo que ha provocado nuevos conflictos, que antes no existían, con los agricultores de Montmesa (fig. 9).

La semilla germinada deja de interesar a las grullas. Durante la migración de febrero la presencia de miles de grullas nunca había supuesto un problema, dado que viajan muchos días con las reservas de grasa acumuladas durante el invierno. Pero durante los meses de noviembre y diciembre provocan daños importantes para los agricultores.

Tabla 1. Número máximo de ejemplares invernantes en la alberca de Alboré, en Montmesa, desde 2010.

<i>Temporada</i>	<i>Número de grullas</i>
Invierno 2010-2011	250
Invierno 2011-2012	1700
Invierno 2012-2013	1500
Invierno 2013-2014	2200
Invierno 2014-2015	2700
Invierno 2015-2016	4200
Invierno 2016-2017	11 000



Fig. 9. Las primeras grullas de 2016 alimentándose en los alrededores de Montmesa. (Fotografía: F. Quesada)

También nos ha permitido disfrutar de la presencia de estas hermosas aves durante más meses al año y poder realizar un trabajo educativo importante gracias a ellas y estudiar su comportamiento fuera del momento de la migración.

Los ejemplares invernantes conocen muy bien el territorio. Al amanecer se desplazan a los campos próximos, donde la siembra es reciente, en pequeños grupos familiares, y recuerdan perfectamente la presencia del tractor en los días anteriores en el campo. También se dirigen a los campos de la zona de la Mezquita, un poco más alejados pero el único lugar próximo con rastrojo de maíz, un alimento que parecen preferir a la semilla de cereal. Estas observaciones permiten aconsejar a los agricultores que alarguen la presencia de estos rastrojos durante la época de siembra para así minimizar los daños.

A media mañana regresan a la alberca a beber y sestar en lugar seguro; vuelven a alimentarse hasta el atardecer, para finalizar el día con las patas en el interior de la alberca a buen resguardo de los depredadores.

Algunos años tenemos la suerte de la aparición de individuos leucísticos en estos grupos invernantes que provocan comportamientos muy curiosos entre los demás ejemplares del bando (fig. 10). La coloración blanca hace que sean más visibles y produce el rechazo de los demás ante la atracción que esto puede suponer para los depredadores. Son desplazados a los exteriores del bando, sobre todo en el momento de la llegada al dormitorio, algo menos durante los periodos de alimentación, sufriendo ataques incluso en vuelo (fig. 11). Estos hechos provocan que sea difícil observar el mismo ejemplar leucístico varios años seguidos, siendo muy corta su esperanza de vida.

Otras observaciones curiosas son la relación de estas grullas invernantes con los depredadores.

Si hacemos un repaso de los depredadores que alteran el comportamiento de las grullas, excluyendo al ser humano, tenemos:

- El zorro (*Vulpes vulpes*)

Probablemente el más importante depredador de grullas en la alberca. Se han observado comportamientos muy interesantes de relación durante



Fig. 10. Grulla leucística alimentándose dentro de un bando en noviembre de 2017.
(Fotografía: P. Vallés)



Fig. 11. Grulla leucística atacada en vuelo y desplazada fuera del bando en noviembre de 2017. (Fotografía: P. Vallés)

los años 2016 y 2017, probablemente todos provocados por el mismo ejemplar de zorro debido a la territorialidad de este.

Durante el invierno elegía el momento de predormidero en la alberca, antes de que las grullas se fueran al agua, con el fin de atravesar el bando con aparente indiferencia para conseguir que las aves se desplazasen sin volar manteniendo la distancia de seguridad ante el depredador. El motivo de este comportamiento probablemente era el de poder detectar



Fig. 12. Restos de grulla depredada por zorro escondidos entre los tamarices.
(Fotografía: P. Vallés)

alguna grulla con síntomas de estar herida o debilitada. Esto se observó varias tardes con muestras de grullas depredadas en ese predormidero en dos ocasiones (fig. 12).

Durante el paso de la migración primaveral la técnica de caza del zorro varió. Descubrimos los rastros de varios ataques exitosos en los que espera escondido durante la noche, en los tamarices (*Tamarix gallica*) de la orilla de la alberca. La frecuencia entre ataque y ataque fue de una semana exacta durante tres semanas consecutivas, y las aves eran desplazadas para ser devoradas y sus restos escondidos en un pinar próximo. El que estos ataques solo se produjeran durante la migración puede ser debido a que las grullas invernantes conocían esta novedosa técnica de caza y se mostraban más precavidas en el momento de abandonar el agua.

- Águila real (*Aquila chrysaetos*)

La mayor parte de los ataques producidos por el águila real son realizados cuando las grullas están en el suelo, que representan el 100% de



Fig. 13. Formación defensiva de las grullas en Gallocanta ante el ataque de un águila real. (Fotografía: R. Radiga)

los observados en la alberca. Aunque sin duda alguna pueda atacar en vuelo, es posible que el tamaño sea un factor determinante a la hora de preferir dar caza en el suelo y luego transportar.

Existen imágenes de formaciones específicas de las grullas para defenderse del ataque de las águilas reales en Gallocanta, pero nunca se ha podido observar en Alboré (fig. 13). Esta defensa consiste, tras la voz de alarma de alguna del bando, en la rápida formación de un círculo con los jóvenes en el centro de este a la vez que estiran el cuello con sus picos amenazantes al cielo y profieren sonoros gritos de amenaza.

En la alberca se han detectado durante los años de este estudio dos rastros de ataques de águila real (fig. 15) y la observación directa por F. Quesada de un adulto enseñando a cazar a dos jóvenes, el 15 de noviembre de 2016, abandonando la presa posteriormente (fig. 14).

- Jabalí (*Sus scrofa*)

El jabalí es otro de los depredadores con los que se ha observado que interactúan las grullas. Comparten lugar de descanso, ya que hay una numerosa comunidad de suidos escondidos dentro de la alberca. Nunca



Fig. 14. Grulla cazada por un águila real. (Fotografía: F. Quesada)



Fig. 15. Restos de grulla depredada por un águila real. (Fotografía: P. Vallés)



Fig. 16. Jabalí cruzando el predormidero de las grullas. (Fotografía: P. Vallés)

se ha detectado un ataque, pero si alguno permanece más tiempo del necesario en el interior del bando los adultos comienzan a hostigar en grupo al mamífero hasta conseguir que abandone el lugar, lo que da a entender que puedan depredar sobre grullas jóvenes o heridas (fig. 16).

En Alboré existe también una pareja de búhos reales (*Bubo bubo*), potencial depredador de las grullas, pero no se ha podido detectar egagrópilas con restos de estas en su interior, por lo que desconocemos si la incidencia de esta rapaz es muy alta o no.

CONCLUSIONES

Durante los últimos años se ha detectado un aumento de la presencia de grullas comunes (*Grus grus*) en la alberca de Alboré, en el término municipal de Montmesa, durante la época de invernada, de octubre a febrero,

momento en el que empieza la migración de toda la población de la península ibérica y de África hacia sus lugares de cría en el norte de Europa.

Este hecho ha provocado el aumento del malestar de los agricultores, que ven cómo estas bellas aves llegan en el momento de la siembra de sus campos provocando daño a sus futuras cosechas, por lo que urge la toma de medidas correctoras en forma de ayudas agroambientales a este colectivo.

Por otro lado, permite actuaciones de ámbito de estudio y educación ambiental debido al atractivo que las grullas generan en la sociedad, pudiendo llegar a ser un factor importantísimo de desarrollo turístico sostenible basado en la observación de aves en un momento que suele coincidir con temporada baja, como ya ha pasado en otros lugares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MOOSER, R., y K. WOUTERSEN (2015). Grullas sobre Huesca, primavera 1980-2015. *Boletín avesdehuesca.es* [Grupo Ornitológico Oscense (GOO)], 11: 6-48.
- ROMÁN, J. A. (coord.) (2018). *Fenología y distribución de la grulla común (Grus grus) en España. 2017-2018*. Grus Extremadura. 96 pp. [Disponible en <<http://www.grusextremadura.org>>]

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL BARRANQUISMO Y LA RESILIENCIA DE LAS COMUNIDADES ACUÁTICAS DEL BARRANCO DE LA PEONERA EN EL PARQUE NATURAL DE LA SIERRA Y CAÑONES DE GUARA

María Luisa PÉREZ¹ | Rocío LÓPEZ-FLORES²

RESUMEN.— En el Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara, el barranquismo es parte importante del desarrollo económico de la zona. Sin embargo, su demanda excesiva pone en peligro los valores ambientales que le confieren su atractivo. El objetivo de este artículo fue analizar el impacto que el descenso de barranquistas por el cañón de la Peonera produce sobre el recubrimiento de perifiton y los macroinvertebrados, base de la cadena alimentaria del resto de especies asociadas al río. Para ello se ha realizado el cálculo de índices de diversidad y calidad ecológica, así como el análisis de la estructura y de los rasgos biológicos de la comunidad, al inicio y al final de la temporada de barranquismo, completando el estudio con un experimento *in situ* que permitió determinar la resiliencia de la comunidad tras una perturbación continuada. Tras el experimento se observaron importantes efectos negativos en la comunidad bentónica, que recuperó su estructura a partir de los 30 días. No obstante, el seguimiento de la temporada 2016 no mostró efectos significativos; resultó

Recepción del original: 18-12-2018

¹ luisaperez.mlp@gmail.com

² Área de Ecología. Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. IUCA. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. rocio.lopez@unizar.es

más relevante la influencia sobre la comunidad de otros factores naturales, como el incremento del índice trófico asociado a la fuente de La Tamara y al paso del verano.

ABSTRACT.— In the Natural Park of the Sierra and Canyons of Guara canyoning is an important part of the economic development of the area. However, their demand is put in danger the environmental values that award their attractiveness. The objective of this article was to analyze the impact that the descent of canyoneers by the canyon of the Peonera produces on the periphyton coating and the macroinvertebrates, base of the food chain of remainder species associated with the river. For this, it has made the calculation of diversity and ecological quality indexes, as well as the analysis of the structure and biological features of the community, the beginning and end of the canyoning season, completing the study with an *in situ* experiment that determine its resilience after a continuous disturbance. After the experiment, the negative effects on the benthic community are observed, which recovered its structure after 30 days. However, the follow-up of the 2016 season did not show significant effects; the influence on the community of other natural factors is more relevant, such as the increase in the trophic index associated with the La Tamara source and the passage of summer.

KEY WORDS.— Canyoning, biological indicator, ecological quality, benthic macroinvertebrates, Alcanadre River, Natural Park of the Sierra and the Canyons of Guara (Spain).

INTRODUCCIÓN

Tras el trabajo realizado por SIERRA GROS y LÓPEZ-FLORES (2013) en el río Formiga, uno de los más afectados por el turismo del Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara (PNSCG), se determinó que el pisoteo producido durante la temporada de barrancos presentaba un impacto perjudicial sobre el estado ecológico del río y sobre la diversidad de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos. Asimismo, también determinó que la comunidad de macroinvertebrados empezaba a recuperar su composición y estructura a partir de los 30 días. Los torrentes del PNSCG, protegidos por la normativa propia del espacio natural, son fuente de riqueza y de desarrollo de la zona, teniendo una incidencia muy directa sobre el medio rural. Se trata del lugar preferido de Europa para la práctica del barranquismo, lo que ha supuesto la instalación de numerosas empresas de aventura en la zona que propician, incluso, una ligera recuperación demográfica de alguno de los municipios (LACOSTA ARAGÜÉS, 2002). Sin embargo, esta alta

afluencia turística también puede ser origen de presión sobre el medio natural (LACOSTA ARAGÜÉS, 2002).

Se sabe que los ríos son los ecosistemas acuáticos más vulnerables a los cambios antrópicos, especialmente en las regiones climáticas mediterráneas. La presión sobre este medio y la demanda excesiva de recursos derivados del ecosistema fluvial está produciendo una disminución de los servicios ecosistémicos esenciales para la salud humana y el bienestar, como la capacidad de autodepuración de los ríos, la amortiguación de las avenidas, la provisión de pesca y otros propósitos tanto culturales como de ocio.

La mayoría de los estudios realizados hasta el momento sobre el impacto ocasionado por las actividades recreativas en el medio natural se han concentrado en el medio terrestre, mientras que los ocasionados en el medio acuático han sido tratados de forma muy puntual (BENAYAS y cols., 1996). Si se busca información sobre la recuperación de los ecosistemas acuáticos lóticos tras una perturbación en ascenso (aquella que aumenta en intensidad con el paso del tiempo), es especialmente escasa y se centra en su mayoría sobre los efectos producidos por perturbaciones relacionadas con la alteración del régimen hídrico (inundaciones o sequías), como los estudios de BROOKS y BOULTON (1991), LAKE (2000), GUERRERO y cols. (2004) y NEGISHI y RICHARDSON (2006). Siendo casi inexistentes las publicaciones relativas a las perturbaciones generadas por actividades de ocio, y menos aún sobre el barranquismo, a excepción de los trabajos de HARDIMAN (2003), HARDIMAN y BURGIN (2011*a* y *b*) y SIERRA GROS y LÓPEZ-FLORES (2013).

Con este artículo se pretende determinar el impacto que la actividad del barranquismo ocasiona sobre la comunidad bentónica en el denominado *barranco de la Peonera* (río Alcanadre) y la capacidad de recuperación de esta tras el cese de la perturbación, persiguiéndose para lograrlo los siguientes objetivos:

- a) Determinar la variación del estado ecológico y la biodiversidad del río Alcanadre en el barranco de la Peonera, antes y después de la temporada de barrancos, mediante una serie de índices biológicos basados en los macroinvertebrados bentónicos, y analizar las diferencias encontradas entre las zonas Afectadas y las no Afectadas por la actividad.

- b) Determinar las diferencias existentes en la biomasa de perifiton de los puntos seleccionados (Afectados y no Afectados) y comparar los cambios sufridos tras la temporada de barranquismo.
- c) Evaluar la capacidad de recuperación de la comunidad fluvial de macroinvertebrados y perifiton, realizando un experimento *in situ* de perturbación controlada.

MARCO DE ESTUDIO

El barranco objeto del estudio de este artículo, la Peonera, se encuentra dentro del río Alcanadre, que desde su nacimiento en la sierra del Galardón (CHE, 2007a) y hasta su desembocadura en el río Cinca, recorre una longitud de unos 148 kilómetros, recogiendo aguas de una cuenca vertiente de 3421 km². Debido a su extensión solo el tramo alto y una gran parte de sus barrancos se encuentran enmarcados en el Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara (CHE, 2007a).

La climatología de la zona sigue un régimen climático mediterráneo con cierta continentalización. Con temperaturas medias anuales de 10,6 °C en la cabecera, dándose las mayores temperaturas en julio y agosto y las menores en diciembre y enero (CHE, 2007a). La precipitación media en el norte de la cuenca del río Alcanadre, para el periodo 1930-2003, es de 970 mm/año; las precipitaciones son más abundantes en primavera y otoño (CHE, 2007a). Durante el otoño, pueden esperarse precipitaciones superiores a 60 milímetros en 24 horas (VALLE MELENDO, 1997). Debido a la estacionalidad de los patrones de precipitación y de temperatura anual de los climas mediterráneos, los ríos presentes en esta cuenca se caracterizan por diferentes niveles de conectividad hidrológica entre estaciones, con fases de expansión y de contracción. Además, aunque el tiempo de secado y la inundación es muy predecible, la intensidad de estos eventos no lo es.

Al tratarse de un río con entidad propia, este ha sido catalogado en diferentes masas de agua en función de sus características climáticas, geológicas y geomorfológicas. De esta manera, el barranco de la Peonera está incluido en la subdivisión “Masa de agua superficial 378” (río Alcanadre desde el río Mascún hasta el río Calcón), que corresponde a la tipología definida como “Ríos de montaña mediterránea calcárea” (R-T12). Aquí, el

río discurre por un valle agreste y profundo (barranco de la Peonera: superior e inferior), donde se realiza de manera intensiva el barranquismo, por su gran cantidad de saltos, toboganes y un gran paisaje.

Zona de estudio

Después de realizar un descenso por el barranco, se determinaron tres estaciones susceptibles de muestreo, a la salida de la parte alta del barranco, por debajo de una surgencia denominada *frente de La Tamara* (fig. 1).

- *Zona Control*. En esta estación se llevó a cabo el muestreo de control antes y durante la temporada de descenso de barrancos. Corresponde a una zona de aguas rápidas no afectada por el pisoteo de los barranquistas. La profundidad del río en este punto es menor a 50 centímetros y de sustrato



Fig. 1. Localización de las zonas de muestreo y experimento sobre imagen de satélite. (Google Maps, elaboración propia).



Fig. 2. a) Visión de la zona Control: acceso a la zona a través de la vegetación; b) zona Alterada: se observa el procedimiento de recogida de macroinvertebrados mediante red *surber*; c) zona de realización del experimento: se aprecia la gravilla del sustrato y los cambios en la coloración debidos a la práctica del experimento, que indican una menor cantidad de perifiton.

predominantemente duro, compuesto principalmente por guijarros, cantos y bloques, con perfil del fondo irregular y corriente entre moderada y fuerte (fig. 2a).

- *Zona Alterada.* La estación alterada corresponde a una zona transitada por los deportistas, aguas abajo de la estación del experimento, y se ha utilizado para la toma de muestras del seguimiento. Profundidad, sustrato y flujo de la lámina de agua, similar a los encontrados en la zona Control (fig. 2b).

- *Zona Experimento.* La estación del experimento se situó aguas abajo de la estación Control, a unos 100 metros. Es un tramo de unos 30 metros de longitud, muy accesible, pero sin paso de barranquistas; el hecho de no ser un tramo perturbado es imprescindible para la realización del experimento. El sustrato es similar a la zona Control, homogéneo en su mayor parte, con predominio de guijarros, cantos y algún bloque (fig. 2c).

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño del seguimiento:

impacto del barranquismo en la comunidad acuática

El muestreo del seguimiento de la comunidad de macroinvertebrados y perifiton se realizó al inicio de la temporada de la actividad de descenso de

barrancos (6/6/2016) y a su la finalización (3/10/2016), en las zonas anteriormente descritas como zona Control y zona Alterada.

Diseño del experimento:

análisis de la resiliencia de la comunidad de macroinvertebrados

Para determinar la resiliencia de la comunidad de macroinvertebrados y del recubrimiento de perifiton tras una perturbación, realizamos un experimento *in situ*, basado en los trabajos realizados por SIERRA GROS y LÓPEZ-FLORES (2013) en el río Formiga (PNSCG) y por HARDIMAN y BURGÍN (2011a y b) en las Blue Mountains (Australia). A tenor de los resultados de ambos estudios, y por su similitud de afluencia con el río Formiga, se estableció realizar el experimento con dos intensidades de pisoteo: 0 (control) y 100 pisoteos (alterada).

Sobre el río se dispuso una red de parcelas de 1 m² (fig. 3a) sobre las cuales se ejercieron las distintas intensidades de pisoteo durante un periodo de siete días consecutivos (fig. 3b), con unas botas de río corrientes (SIERRA GROS y LÓPEZ-FLORES, 2013). A partir del día octavo se muestreó a intervalos de tiempo determinados.

La unidad de muestreo en este caso fue una superficie de 30 centímetros de ancho, y 100 centímetros, aguas arriba de la red. Se realizaron $n = 3$ réplicas para cada una de las ocho combinaciones resultantes de la combinación; periodo de recuperación \times intensidad de pisoteo, conformando una estructura de 24 cuadros en total. Como la anchura del río así

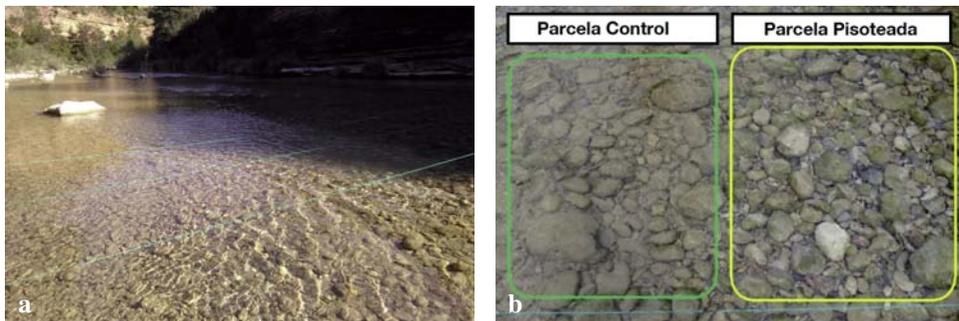


Fig. 3. a, Delimitación de parcelas sobre el lecho del río; b, parcelas contiguas con diferente tratamiento en el experimento.

lo permitió, se realizaron tres bloques de dos filas de cuadrados de 1 m², separados entre ellos 1,5 metros.

El diseño del experimento quedó de la siguiente forma (fig. 4):

1. Intensidad de pisoteo: dos niveles (0 y 100 pisoteos diarios, durante 7 días consecutivos).
2. Periodo de recuperación: cuatro niveles (muestreo al cabo de 1, 15, 30 y 60 días de recuperación).

Se han de tener en cuenta las contingencias que podrían incurrir en la no independencia de los resultados, tales como la deriva de sedimentos, el impacto derivado del cruce o del baño de animales en la zona y/o la imposibilidad de impedir el paso de bañistas ocasionales, así como el flujo

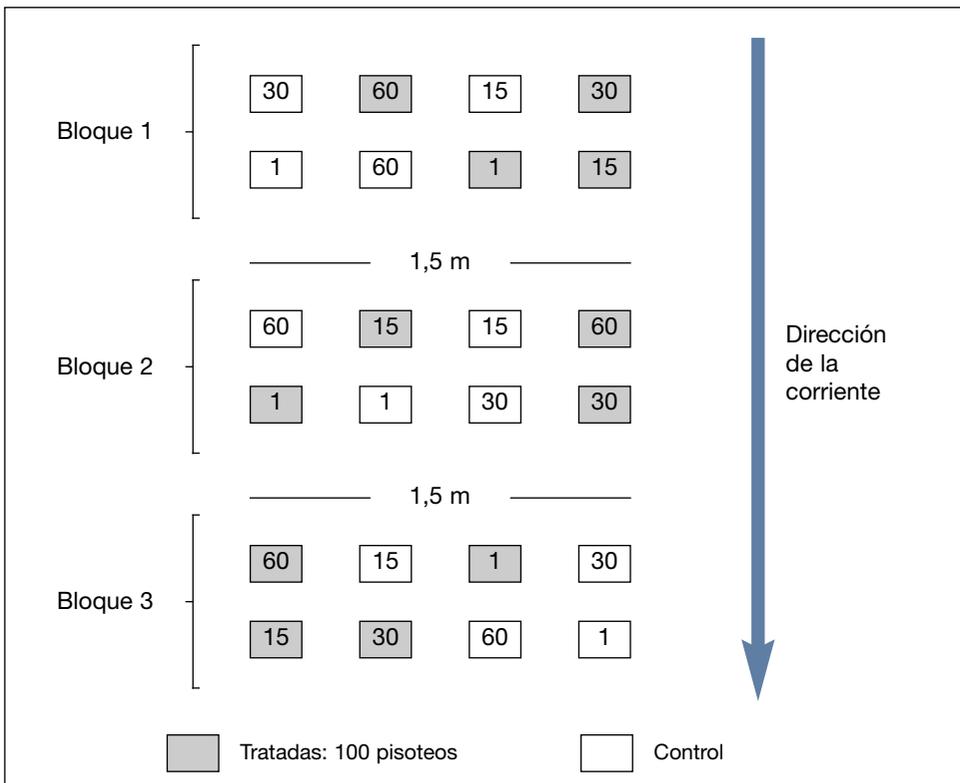


Fig. 4. Esquema del experimento de pisoteo en el río Alcanadre. El número en cada parcela indica el número de días de recuperación de cada una de las parcelas. La distribución fue al azar.

descendente de la corriente. Para reducir estas contingencias se llevaron a cabo las siguientes actuaciones:

- I. Separación de cada bloque por un tramo de río de 1,5-2 metros y con una profundidad del agua baja (< 25 centímetros), que facilite la sedimentación del material transportado.
- II. Evitar las orillas del río, que puedan quedar al descubierto al reducirse el caudal.
- III. Asignación al azar de la posición de los cuadrados del factor Intensidad de pisoteo dentro de cada parcela.
- IV. Asignación al azar de la posición de los cuadrados del factor Periodo de recuperación dentro de cada bloque.
- V. Recolección de muestras en el sentido opuesto al de la corriente (abajo-arriba).

La preparación del experimento se llevó a cabo entre el 8 y el 14 de junio de 2016, y la recolección de las muestras se realizó en el transcurso del verano los días 15 y 29 de junio (día 1 y 15 de la recuperación), el 14 de julio (día 30) y el 13 de agosto (día 60).

Toma de muestras de perifiton

El muestreo del perifiton, tanto en seguimiento como en experimento, consistió en un muestreo de tres réplicas en cada una de las estaciones y fechas de muestreo. Las muestras del perifiton se recogieron mediante el rascado de una superficie conocida (25 cm²) del sustrato rocoso, y se conservaron a oscuras hasta su procesado en el laboratorio, donde se filtró mediante un filtro Whatman GF/F, y se conservó a -20 °C.

Posteriormente, se realizó la extracción de la clorofila del filtro en un bote de vidrio con un volumen conocido de acetona al 90% (habitualmente 10 mL), siguiendo los protocolos estándar (ELÓSEGI y SABATER, 2009). Este proceso duró 24 horas, durante las cuales la muestra se conservó a una temperatura de 4 °C. Transcurrido ese tiempo, se determinó la absorbancia de la muestra. Esta se transformó a concentración por unidad de área mediante las fórmulas desarrolladas por JEFFREY y HUMPHREY (1975). Además, la absorbancia de los carotenoides a 430 μm se combinó con la absorbancia de clorofila *a* (665) en el índice de Margalef (MARGALEF, 1983), que permite determinar situaciones de estrés de la

comunidad de fitobentos, como la fotooxidación u otras limitaciones a la producción de biomasa.

Protocolo de muestreo para macroinvertebrados bentónicos

En cada una de las zonas y los tiempos designados, tanto en el seguimiento como en el experimento, se realizó la extracción de tres réplicas, removiendo el sustrato contenido en una superficie de 30 centímetros de ancho y de 100 centímetros de largo, aguas arriba de la red *surber*. El procedimiento de muestreo está basado en el llevado a cabo por SIERRA GROS y LÓPEZ-FLORES (2013) y en el protocolo establecido por la Directiva Marco del Agua (DMA) (CHE, 2007b).

La recogida de las muestras de macroinvertebrados se realizó situando la red *surber* aguas abajo de la zona a muestrear (y de cara a la corriente) y se voltearon las gravas-piedras, manteniendo el borde inferior de la red contra el lecho fluvial, para posteriormente remover con los pies los depósitos inferiores (10-15 centímetros de profundidad), desalojando cualquier organismo a lo largo de la superficie establecida aguas arriba de la red.

El material recolectado se introdujo en un bote de plástico hermético para su conservación en alcohol al 70% (concentración final) y evitar así la interacción entre organismos, especialmente la depredación. En el laboratorio, se procedió a limpiar las muestras de piedras y de restos orgánicos, para facilitar la separación de los individuos. Cada macroinvertebrado fue identificado hasta el nivel taxonómico de familia a excepción de oligoquetos, ostrácodos e hidrácaros (exigida para el cálculo del índice IBMWP, MAPAMA, 2013; PRAT y cols., 2006). Así, una vez separados, se procedió a contar los individuos idénticos.

Cálculo de índices biológicos

Tras la entrada en vigor de la Directiva Marco del Agua, se han priorizado los indicadores biológicos frente a los fisicoquímicos, y de entre todos los organismos acuáticos, los macroinvertebrados son los más usados como bioindicadores a nivel mundial (PRAT y cols., 2006), pues presentan ciertas características que permiten que respondan muy bien a los cambios en las

condiciones ecológicas. De entre las métricas existentes, se escogió el índice IBMWP (Iberian Biomonitoring Working Party; ALBA-TERCEDOR y cols., 2002), basado en la identificación de la fauna bentónica presente, y el índice IASPT (JÁIMEZ-CUÉLLAR y cols., 2002), que establece una relación entre el valor del IBMWP y el número de familias encontradas.

La evaluación que exige la DMA ha de ofrecer un valor relativo que mida el grado de las condiciones biológicas observadas en el río respecto de las mejores condiciones biológicas posibles, determinado por la tipología de la masa de agua a estudiar (R-T12, ríos de montaña mediterránea calcárea), de manera que la calidad del agua se refiere como un porcentaje de cambio respecto a la condición de referencia (tabla 1) del ecotipo (BONADA y cols., 2002).

Tabla 1. Condiciones de referencia y límites de cambio de clase de estado para la masa de agua; ríos de montaña mediterránea calcárea (R-T12). Real Decreto 817/2015.

Tipo de río	Indicador	Condición de referencia	Límites de cambio de clase de estado			
			Muy bueno / bueno	Bueno / moderado	Moderado / deficiente	Deficiente / malo
R-T12	IBMWP	186	0,82	0,5	0,3	0,12

Índices relacionados con la diversidad taxonómica

Para apoyar este estudio y facilitar la interpretación del ecosistema, se han empleado otros índices de diversidad y riqueza. Se utilizó el número de individuos, total y de cada taxón, y la riqueza (S) de familias para aproximarnos a la complejidad de la comunidad. Sin embargo, debe considerarse que la riqueza no indica diversidad, pues asume que todas las especies tienen el mismo valor, sean abundantes o no. Cuando las perturbaciones son fuertes, su respuesta muestra inmediatamente la alteración en la estructura de la comunidad; pero no ocurre lo mismo cuando las perturbaciones son de baja intensidad o frecuencia (PRAT y cols., 2006).

Se ha calculado también el índice de riqueza de Margalef, muy simple de interpretar a pesar de resultar uno de los índices más limitados. Su cálculo se basa en la relación entre la riqueza de especies (S) y el número total de individuos observados o (n), pero de una forma que no aumente al incrementarse el tamaño de la muestra (SAMO LUMBRERAS y cols., 2008).

Los índices de diversidad de Shannon-Weaver (1949) y dominancia de Simpson (1960) son de los más empleados en ecología, y basan su cálculo en la riqueza específica y en la equitatividad de una comunidad de individuos. El primero de ellos obtiene valores elevados cuanto mayor sea la equitatividad entre grupos taxonómicos, mientras que el segundo mide la probabilidad de encontrar dos individuos de la misma especie en dos extracciones sucesivas al azar sin reposición. Opuesta a la diversidad, obtiene valores superiores a mayor dominancia de alguna de las familias (SAMO LUMBRERAS y cols., 2008).

Por último, se obtuvo también el índice de equitatividad de Pielou, que calcula la proporción de la diversidad observada (SHANNON y WEAVER, 1949) con relación a la máxima diversidad esperada (SAMO LUMBRERAS y cols., 2008).

Al tratarse de un barranco con influencias climáticas mediterráneas, se creyó conveniente calcular la relación de $EPT / EPT + OCH$, que evalúa la presencia y la ausencia de *Ephemeroptera* (E), *Plecoptera* (P) y *Trichoptera* (T), en relación con la presencia y la ausencia de *Odonata* (O), *Coleoptera* (C) y *Heteroptera* (H) (BERNABÉU y BONADA, 2014). Esta ratio refleja la temporalidad de flujo de corriente (SOTOMAYOR, 2016) y representa un buen indicador de los cambios estacionales en las comunidades de macroinvertebrados en los ríos mediterráneos (BONADA y cols., 2007b).

Análisis estadístico

El tratamiento estadístico se realizó para las diferentes variables e índices obtenidos, tanto en seguimiento como en experimento. En el primer caso, se analizaron las diferencias observadas entre el factor Muestra, resultado de la combinación del factor zona (Alterado [A], por el tránsito de barranquistas o no, es decir, Control [C]), y del factor periodo (Inicio [I] y Final [F]) de la temporada de barrancos. Mientras que para el experimento lo que se pretendía era conocer las diferencias producidas por los diferentes niveles de los factores Tratamiento (Control y Alterado, es decir, 0 o 100 pisoteos, respectivamente) y Periodo de recuperación, de 1, 15, 30 y 60 días.

Con ayuda del programa estadístico R 3.4.2 y R commander (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015) se realizó el tratamiento estadístico de los índices biológicos indicados. Se hizo un test *post-hoc* (Tukey's test) después de realizar el test ANOVA de cada variable, el cual permite determinar qué categorías del factor difieren entre sí, considerando un nivel de significación de $p < 0,05$. Las variables que cumplieron con este requisito se representaron gráficamente en un diagrama de cajas, con el fin de visualizar el origen de las diferencias y facilitar su comprensión.

Posteriormente, y para detectar si existían diferencias significativas debidas a variaciones en la estructura de la comunidad (en el seguimiento y a lo largo del experimento), se realizó un análisis de similitud de una vía (ANOSIM). Empleando el paquete estadístico Vegan (OKSANEN y cols., 2018). En este caso se consideraron diferencias estadísticamente significativas los valores de $p < 0,1$, ya que el número de muestras era demasiado pequeño para obtener significaciones menores de $p < 0,05$ (HARDIMAN y BURGIN, 2011a y b). A continuación se llevó a cabo un análisis de escalamiento multidimensional (NMDS), con el objetivo de visualizar las diferencias obtenidas con ANOSIM, y se completó con un análisis jerárquico (clúster) (SIERRA GROS y LÓPEZ-FLORES, 2013).

Para poder relacionar la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos con la diversidad funcional de las muestras, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) y un análisis de componentes principales difuso (FPCA; *Fuzzy*), además de un test de coinerencia, con los paquetes de datos de R de Rcmdr (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015) y ade4 (THIOULOUSE y cols., 1997). El FPCA es un análisis multivariable que nos permite trabajar conjuntos de datos que son difusos por naturaleza (USSEGLIO-POLATERA y cols., 2000). En el caso del estudio posibilitó analizar los rasgos biológicos (variable categórica, transformada en difusa) y su relación con las familias presentes. Se han considerado los rasgos biológicos siguientes: la tolerancia a la contaminación (índice saprobio), el grado de eutrofia, el modo de alimentación y la preferencia al microhábitat (sustrato), según los datos extraídos de TACHET y cols. (2000).

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, tanto para el seguimiento como para el experimento, y se comprobó su

significación con un test de Monte-Carlo, con 999 permutaciones (DOLÉDEC y CHESSEL, 1994).

RESULTADOS

Seguimiento:

Efecto de la temporada de barranquismo en el recubrimiento de perifiton del sustrato

La variable concentración de clorofila *a* en el perifiton durante el seguimiento, para el factor combinado Muestra, tuvo que ser transformada, pues los datos no presentaron distribución normal y las varianzas entre categorías del factor no fueron homogéneas. Al realizar el test ANOVA de la variable, se observaron diferencias significativas y, tal como se observa en la representación gráfica (fig. 5a), se produjo un aumento de la concentración de clorofila *a*, tras la temporada, en ambas zonas de muestreo (Alterada y Control). Se observó que en la zona Control ya existía una mayor biomasa algal al inicio de la temporada.

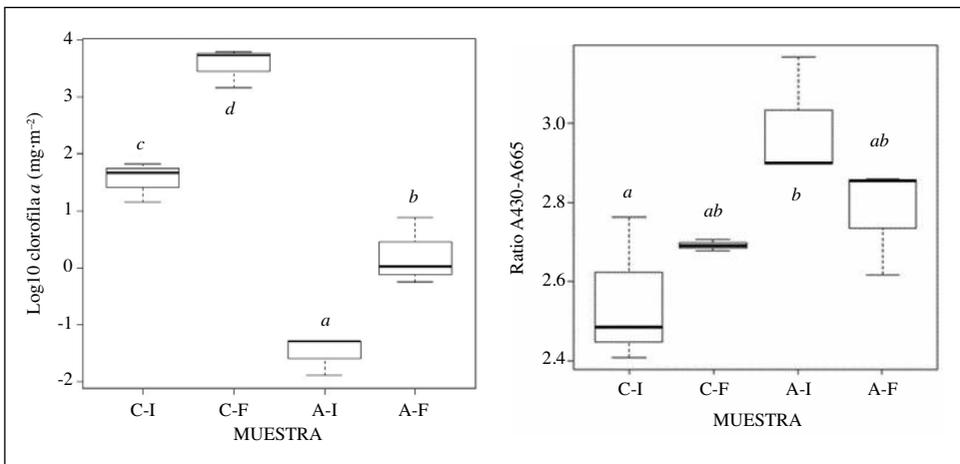


Fig. 5. a) Diagrama de cajas para la concentración de clorofila *a* ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$) durante el seguimiento del barranco de la Peonera en 2016. Datos transformados (\log_{10}). Las letras *a*, *b*, *c* y *d* muestran las agrupaciones de las categorías del factor a partir del test *post-hoc*; b) gráfica de cajas para los valores de la ratio A430:A665 durante el seguimiento del barranco de la Peonera en 2016. Las letras *a* y *b* muestran las agrupaciones de las categorías del factor a partir del test *post-hoc*. (Control y Alterado: C y A, respectivamente; Inicial y Final: I y F, respectivamente).

El cociente pigmentario A430:A665, que relaciona la concentración de carotenoides y la de la clorofila *a* (fig. 5b), alcanzó su valor superior en la muestra Afectada y el inferior en la muestra Control, ambas al inicio de la temporada, por lo que las diferencias principales se deben a la divergencia original entre las zonas de muestreo.

Efecto de la temporada de barranquismo en el estado ecológico

El estado ecológico determinado mediante el índice IBMWP mejora levemente al final de la temporada en ambas zonas, Alterada y Control (tabla II).

Tabla II. Resultados del índice IBMWP para las muestras durante el seguimiento del barranco de la Peonera en 2016.

	<i>Valor IBMWP</i>	<i>Estado ecológico</i>
<i>R1 A-I</i>	59	0,317
<i>R2 A-I</i>	97	0,522
<i>R3 A-I</i>	75	0,403
<i>R1 C-I</i>	115	0,618
<i>R2 C-I</i>	120	0,645
<i>R3 C-I</i>	69	0,371
<i>R1 A-F</i>	110	0,591
<i>R2 A-F</i>	79	0,425
<i>R3 A-F</i>	97	0,522
<i>R1 C-F</i>	110	0,591
<i>R2 C-F</i>	95	0,511
<i>R3 C-F</i>	93	0,500

Se incluyen las tres réplicas de cada muestra en las zonas Alterada (A) y Control (C), a Inicio (I) y Fin (F) de temporada. El color verde indica buen estado, y el color amarillo, moderado, siguiendo los umbrales establecidos en el Real Decreto 817/2015.

Índices de biodiversidad y calidad del agua

Tras analizar estadísticamente todos los índices mencionados en la metodología, solo un índice mostró diferencias significativas ($p < 0,05$), el IASPT. Se observó un aumento del índice IASPT al final de la temporada,

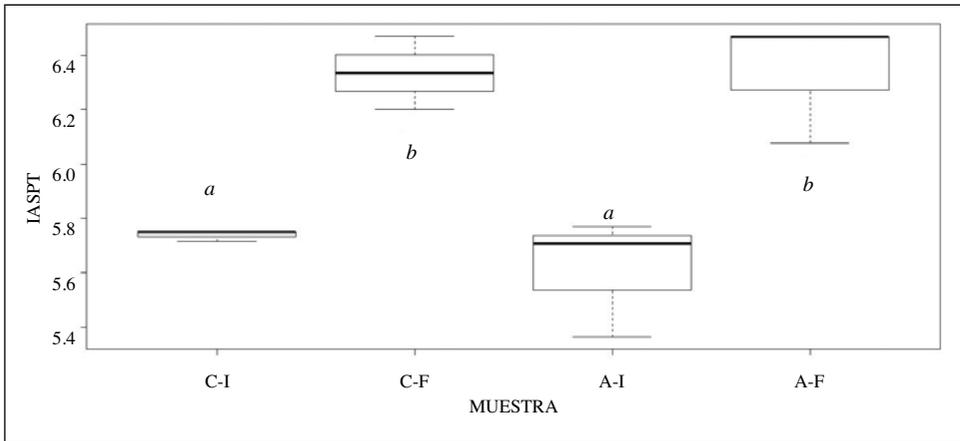


Fig. 6. Diagrama de cajas del índice IASPT, para el factor Muestra, durante el seguimiento del barranco de la Peonera en 2016. (Control y Alterado: C y A, respectivamente; Inicial y Final: I y F, respectivamente). Las letras *a* y *b* muestran las agrupaciones de las categorías del factor a partir del test *post-hoc*.

para ambas zonas: Alterada (A) y Control (C). Para un mismo valor de IBMWP (diferencias no significativas), el aumento del IASPT (fig. 6) indica una disminución del número de taxones tras la temporada, o un cambio de los taxones presentes, pero con un incremento de su puntuación en el índice IBMWP. Así, la comunidad presente al inicio de la temporada fue de composición diferente a la del final, para ambas zonas, habiendo al final menor número de taxones, pero de mayor valor ecológico.

Variación de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados tras la temporada de barrancos

Empleando los análisis ANOSIM y NMDS (Non-metric Multidimensional Scaling, fig. 7), para determinar cambios en la estructura de la comunidad (abundancia y composición) de macroinvertebrados en la zona Afectada por el barranquismo, se observó, tanto para el nivel taxonómico de orden como de familia, cómo las muestras se agruparon en tres conjuntos. Mientras las muestras de inicio de temporada permanecieron juntas (Alterada y Control), las muestras del final de la temporada se separaron entre zona Afectada y zona Control.

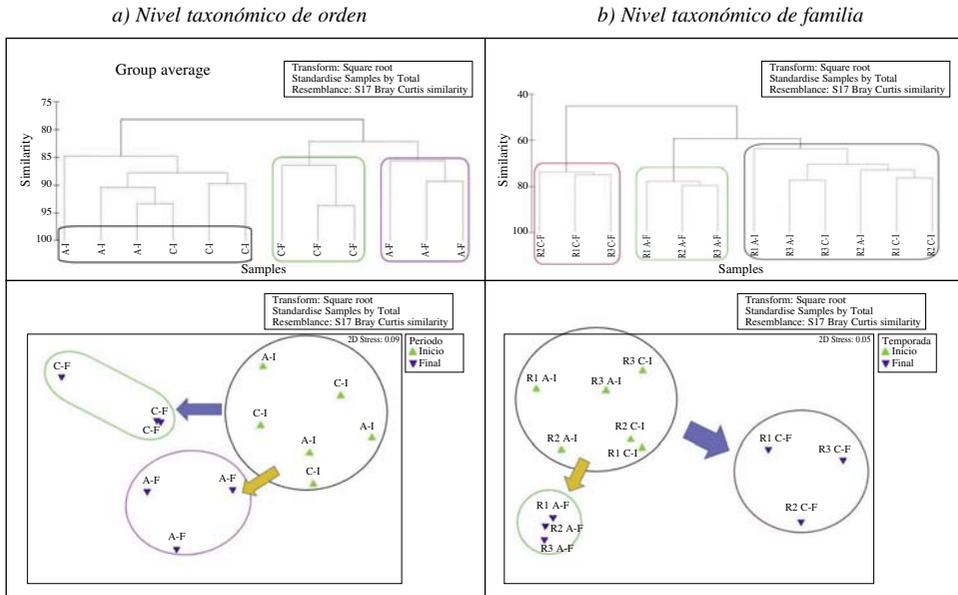


Fig. 7. *a)* Arriba: análisis jerárquico (clúster) aplicado a la matriz de similitud de Bray-Curtis para el nivel taxonómico de orden; abajo: representación gráfica del Non-metric Multidimensional Scaling (NMDS); *b)* arriba: análisis jerárquico (clúster) aplicado a la matriz de similitud de Bray-Curtis para el nivel taxonómico de familia; abajo: representación gráfica del Non-metric Multidimensional Scaling (NMDS).

Nota: La letra C hace referencia a la muestra de Control, mientras que la letra A lo hace de la Alterada. Las letras I indican la muestra inicial de la temporada y la letra F, el final. Las flechas azules y amarillas se han añadido al gráfico para su interpretación y corresponde a la trayectoria en el tiempo de las parcelas Control (azul) y Alteradas (amarillo).

Variación de la composición y de los rasgos biológicos de la comunidad de macroinvertebrados tras la temporada de barrancos

Mediante el análisis PCA (fig. 8), se ha podido relacionar las abundancias de las familias encontradas, con las zonas (Alterada / Control) y temporada (Inicio / Final). Los dos primeros ejes del análisis explicaron un 58,5% de la varianza. El primer eje (horizontal; 35,2% de la varianza) separó las muestras según la temporada (final en la parte positiva e inicial en la negativa), mientras que el segundo eje (vertical; 23,3% de la varianza) separó las muestras entre Alterada y Control, con mayor separación entre las muestras de final de temporada (alterada en la parte negativa y control

en la positiva). Estos resultados ratifican los obtenidos mediante el análisis ANOSIM y NMDS.

En la composición de la comunidad de macroinvertebrados, se observó una dominancia de las familias *Athericidae*, *Ephemerellidae* y *Chironomidae*, especialmente de las dos últimas, en la zona Control al finalizar la temporada, mientras que, en el mismo periodo, *Simuliidae* y *Heptageniidae* dominaron la comunidad en las muestras de la zona Afectada, acompañadas

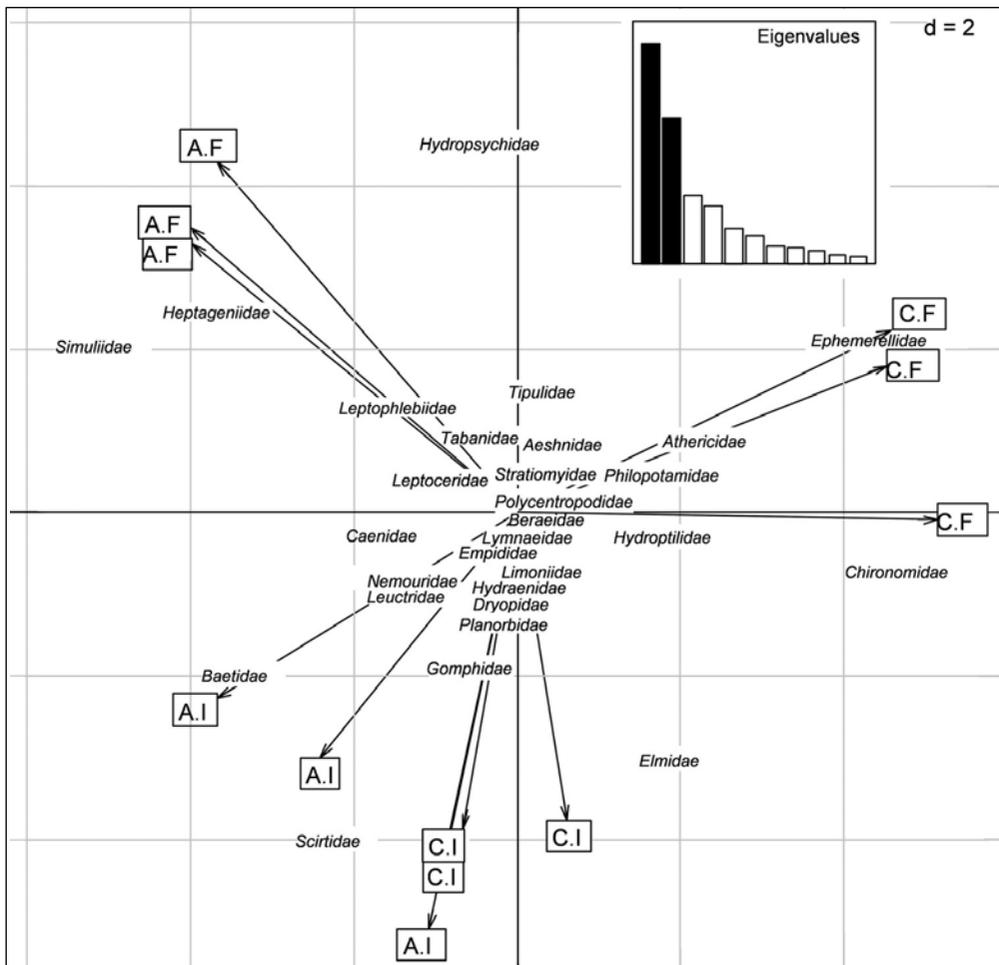


Fig. 8. Análisis de componentes principales (PCA) de la abundancia de familias con relación a los puntos de muestreo. Zonas: Alterada (A) y Control (C); periodo: Inicio (I) y Final (F).

de otras familias como *Leptophlebiidae* e *Hydropsychidae*. En cuanto al inicio de la temporada, ambas zonas coincidieron en valores negativos del segundo eje (vertical), y se encuentran dominadas por las familias: *Scirtidae*, *Elmidae*, *Gomphidae* y *Baetidae*.

Mediante el análisis de componentes principales difuso (FPCA; fig. 9), se analizaron los rasgos biológicos dominantes en la comunidad de macroinvertebrados durante la temporada 2016. Los dos primeros ejes explicaron el

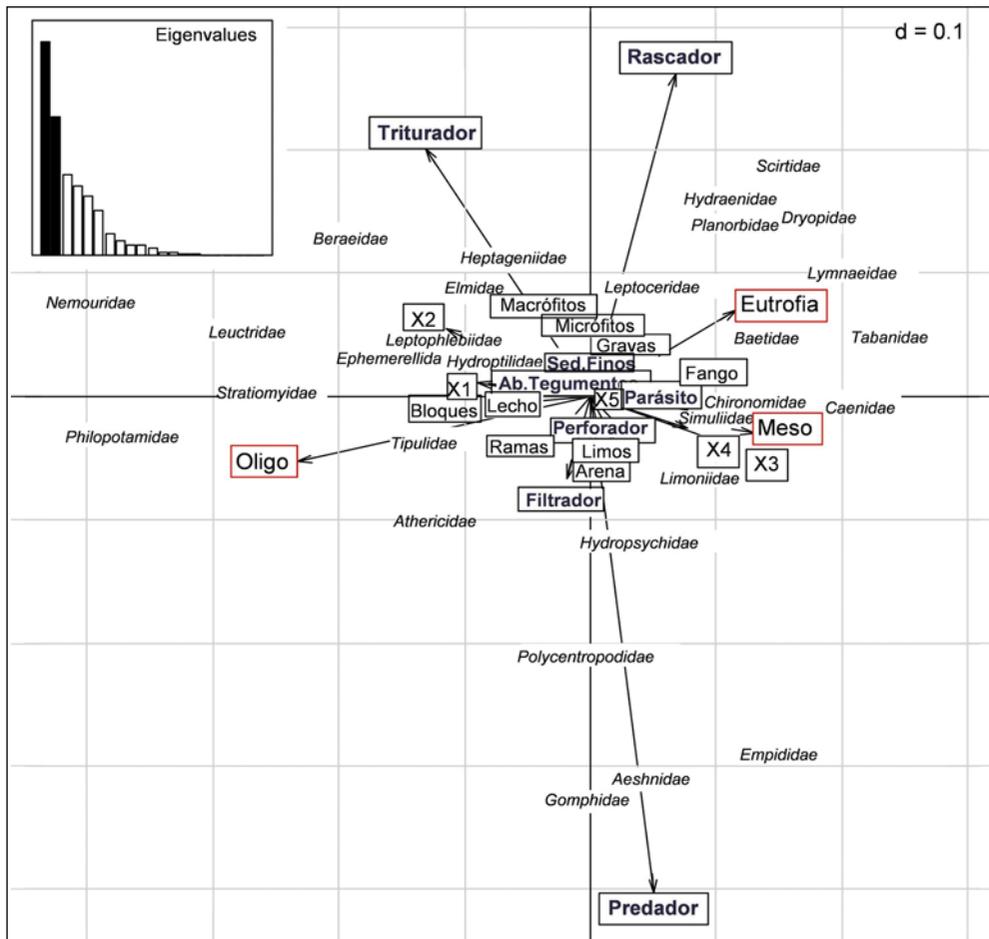


Fig. 9. Análisis de componentes principales difuso (FPCA) del seguimiento, teniendo en cuenta las familias encontradas durante el estudio y los rasgos biológicos considerados (la tolerancia a la contaminación, el grado de eutrofia, la alimentación, el valor saprobio y el microhábitat).

39,2% de la varianza. El eje 1 (horizontal; 20,3% de la varianza) separó las familias principalmente por su tolerancia a la eutrofia. Las familias de ambientes oligotróficos (valor negativo), como *Athericidae*, *Leuctridae* y *Nemouridae*, se diferenciaron de las de ambientes eutróficos (en valores positivos del eje) como *Simuliidae*, *Baetidae* y *Tipulidae*. Por otra parte, el eje 2 (vertical; 18,9% de la varianza) separó las familias por su estrategia trófica; en valores positivos se situaron las familias de rascadores y trituradores, y en valores negativos las familias de filtradores y predadores, representados por las larvas de libélula. No se pudieron observar dominancias de familias que se diferenciaban por su microhábitat, o por su índice saprobio.

El análisis de coinercia no resultó significativo, por lo que el PCA y el FPCA por separado fueron más explicativos. Con estos resultados, pudimos determinar la tendencia en el cambio de la comunidad tras la temporada, obteniendo que al inicio de la temporada la estrategia trófica mayoritaria en ambas zonas fue la de rascadores (*Scirtidae* y *Elmidae*), indicando un ambiente mesotrófico. También fueron importantes las familias trituradoras como *Baetidae*, de ambientes mesotróficos y tolerantes a la eutrofia. Ambas zonas al inicio de la temporada se encuentran más próximas entre sí en cuanto a las características de los organismos presentes, que al finalizar la temporada. Al final de la temporada, se observa cómo los filtradores (*Simuliidae* e *Hydropsychidae*) presentaron mayor importancia en la zona Alterada, principalmente los simúlidos, y de carácter mesotrófico, aunque se podrían encontrar en ambientes más eutróficos. En contraposición, la zona Control final está dominada por la presencia de perforadores (*Athericidae* y *Ephemerellidae*) claramente de carácter oligotrófico y especialmente aparece la alimentación parásita como estrategia importante. La significativa presencia de parásitos es producida por el aumento de la familia *Chironomidae* al final de la temporada, pues dos de las cinco especies de este taxón existentes corresponden a parásitos.

Experimento:

Resiliencia de las comunidades bentónicas tras un impacto controlado

Capacidad de recuperación del recubrimiento de perifiton de las rocas tras el experimento del pisoteo

Durante el experimento, el análisis de la ratio A430:A665 no resultó significativo. Pero el análisis de la varianza de la concentración de clorofila

a en el perifiton tras el pisoteo intenso (fig. 10), sí mostró diferencias significativas entre las categorías del factor Muestra (zona tratada, Alterada [A], o no tratada, Control [C]; y tiempo de recuperación tras el pisoteo: día 1 [D1], día 15 [D15], día 30 [D30] y día 60 [D60]).

En la zona Control no se observan variaciones importantes en la concentración de clorofila *a*; por el contrario, en la zona Afectada sí se produjeron cambios importantes en la concentración: fue significativamente menor el primer día tras el tratamiento (concentración de clorofila *a*, cuatro veces menor respecto al control del mismo día) y se recuperó progresivamente hasta el día 30.

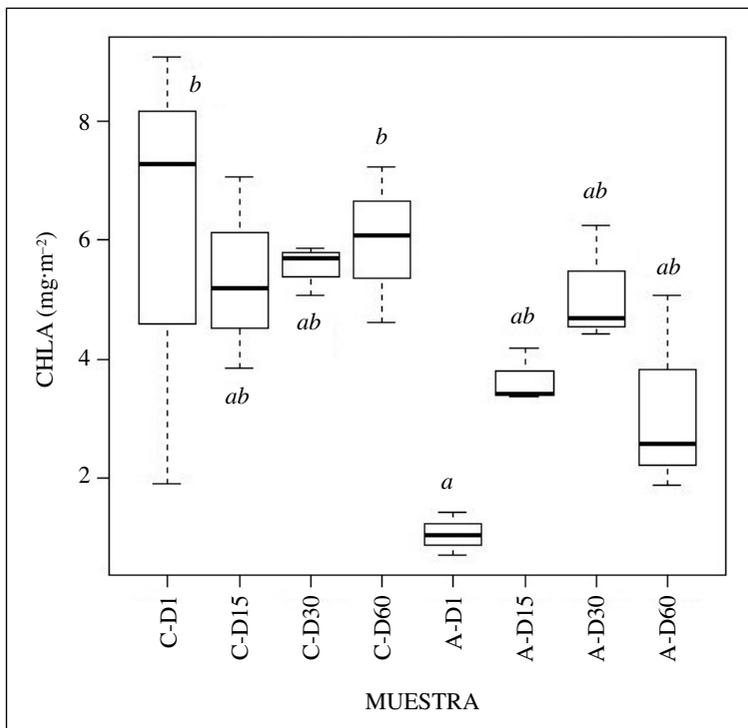


Fig. 10. Diagrama de cajas para la concentración de clorofila *a* ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$) durante el experimento en el barranco de la Peonera en 2016. (Control y Alterado: C y A, respectivamente; días 1, 15, 30 y 60: D1, D15, D30 y D60). Las letras (*a* y *b*) muestran las agrupaciones de las categorías del factor a partir del test *post-hoc*.

Capacidad de recuperación del estado ecológico

Se analizó el estado ecológico para cada uno de los periodos de recuperación, obteniendo un estado ecológico de la masa de agua de moderado en todas las réplicas tratadas, mientras que para las zonas Control se obtuvo un buen estado ecológico. A partir del día 15 algunas de las parcelas tratadas empiezan a recuperar su calidad ecológica, equiparándose a las parcelas Control a partir del día 30, hasta alcanzar un estado de Bueno, para todas las muestras, sean Control o Alteradas (tabla III).

Tabla III. Resultados del índice IBMWP para las parcelas del experimento.

<i>Control</i>	<i>Valor IBMWP</i>	<i>Estado ecológico</i>	<i>Alteradas</i>	<i>Valor IBMWP</i>	<i>Estado ecológico</i>
<i>R1 C-D1</i>	125	0,672	<i>R1 A-D1</i>	86	0,462
<i>R2 C-D1</i>	105	0,565	<i>R2 A-D1</i>	69	0,371
<i>R3 C-D1</i>	80	0,430	<i>R3 A-D1</i>	88	0,473
<i>R1 C-D15</i>	106	0,570	<i>R1 A-D15</i>	106	0,570
<i>R2 C-D15</i>	107	0,575	<i>R2 A-D15</i>	85	0,457
<i>R3 C-D15</i>	91	0,489	<i>R3 A-D15</i>	77	0,414
<i>R1 C-D30</i>	133	0,715	<i>R1 A-D30</i>	118	0,634
<i>R2 C-D30</i>	92	0,495	<i>R2 A-D30</i>	97	0,522
<i>R3 C-D30</i>	114	0,613	<i>R3 A-D30</i>	111	0,597
<i>R1 C-D60</i>	109	0,586	<i>R1 A-D60</i>	113	0,608
<i>R2 C-D60</i>	119	0,640	<i>R2 A-D60</i>	119	0,640
<i>R3 C-D60</i>	102	0,548	<i>R3 A-D60</i>	106	0,570

Se incluyen las tres réplicas de cada muestra en las parcelas Alterada (A) y Control (C), y los días de muestro; día 1 (D1), día 15 (D15), día 30 (D30) y día 60 (D60).

El color verde indica buen estado, y el color amarillo, moderado, siguiendo los umbrales establecidos en el Real Decreto 817/2015.

Índices de biodiversidad y calidad del agua

Analizando estadísticamente cada variable respecto al factor combinado Muestra, se obtuvieron resultados significativos, para los siguientes índices: número de individuos, riqueza, diversidad de Shannon y equitatividad de Pielou (fig. 11).

Con el número de individuos totales, podemos observar el impacto del experimento, produciéndose un fuerte descenso en las parcelas Alteradas

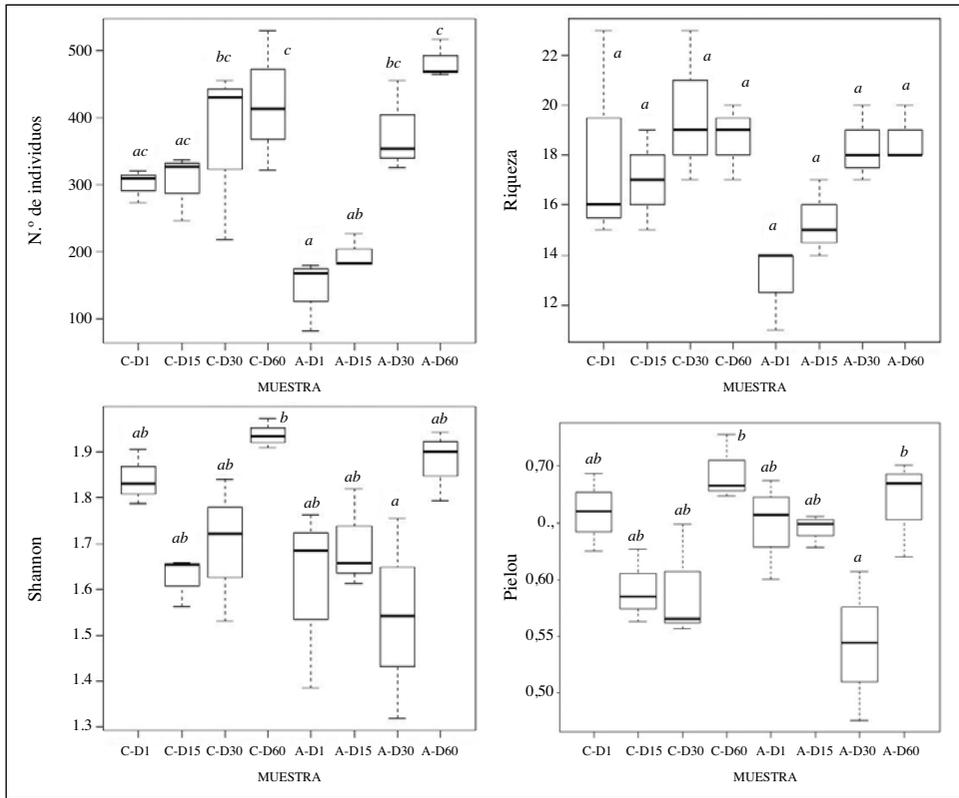


Fig. 11. Diagramas de caja para a) número de individuos, b) riqueza específica, c) índice de Shannon, d) índice de Pielou. Parcelas Control (C) y Afectado (A) para los días del experimento 1, 15, 30 y 60.

Nota: Las letras (a, b, c y d) definen las agrupaciones según el test *post-hoc*.

para el primer día de recuperación, alrededor de 150 individuos menos. A partir del día 30 los valores alcanzados eran algo más bajos, pero ya similares a los hallados en las parcelas Control. El índice de riqueza específica muestra resultados similares, en cuanto al impacto y en su recuperación a partir del día 30. En este caso, el nivel de significación no permitió separación mediante el test *post-hoc*, pero sí mediante el test ANOVA.

La diversidad de Shannon (fig. 11c) varió mucho en las parcelas Control, por lo que se hace difícil la comparación con las parcelas Afectadas. La diversidad en Alteradas y Control fue similar los primeros 15 días, y a partir del día 30 se produjo una disminución considerable, obteniendo los

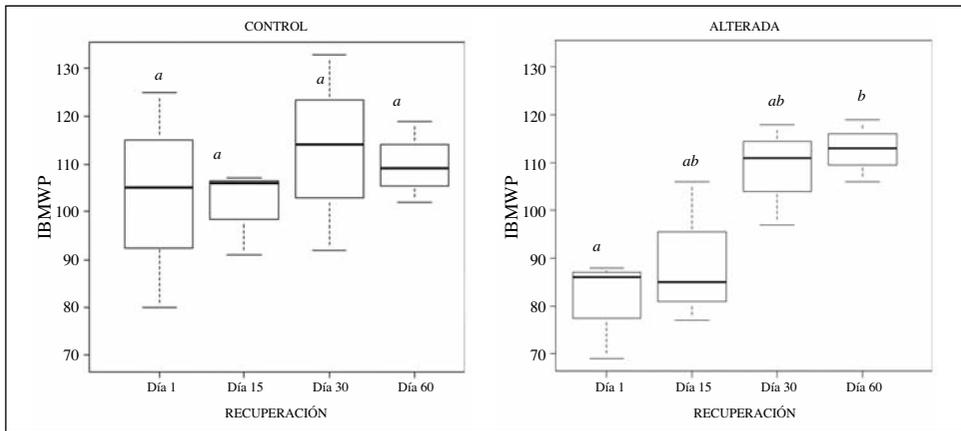


Fig. 12. Izquierda: diagramas de caja para el índice IBMWP, Control, para los días de recuperación: 1, 15, 30 y 60. Derecha: diagramas de caja para el índice IBMWP, Alterada, para los días de recuperación: 1, 15, 30 y 60.

Nota: Las letras (*a* y *b*) definen las agrupaciones según el test *post-hoc*.

menores valores de diversidad del experimento. El día 60 ambos tratamientos experimentaron un aumento de la diversidad, aunque en las parcelas Afectadas esta no alcanzó los valores de las parcelas Control. Como la equitatividad de Pielou (fig. 11*d*), mide la relación entre la diversidad observada y la diversidad esperada, obtenemos un patrón similar al de la diversidad de Shannon. El día 60, el valor fue cercano a 0,7, lo que indica que las muestras se aproximaron a la diversidad esperada.

El índice IBMWP no mostró diferencias significativas para el conjunto del experimento. Sin embargo, al analizar por separado los tratamientos, se ha podido observar que en las parcelas Control no existieron diferencias, pero tras el pisoteo, las parcelas Afectadas tuvieron un índice de calidad inferior a 90, recuperando los valores similares a los de las parcelas Control, a partir del día 30 (fig. 12).

Análisis de similitud de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados para las distintas fases del experimento

En ambos niveles taxonómicos la similaridad de la estructura de la comunidad en el experimento presentó una dinámica similar (fig. 13). Se observó que dos de las tres muestras de las parcelas Alteradas el día 1 están

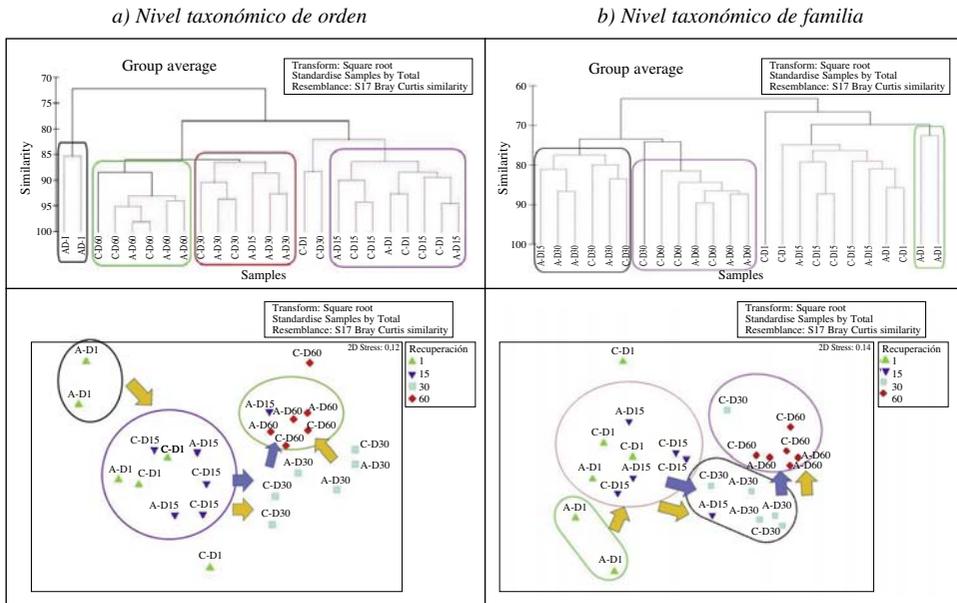


Fig. 13. *a*) Arriba: análisis jerárquico (clúster) aplicado a la matriz de similitud de Bray-Curtis para el nivel taxonómico de orden; abajo: representación gráfica del Non-metric Multidimensional Scaling (NMDS); *b*) arriba: análisis jerárquico (clúster) aplicado a la matriz de similitud de Bray-Curtis para el nivel taxonómico de familia; abajo: representación gráfica del NMDS.

Nota: La letra C hace referencia a la muestra del Control, la letra A lo hace de la Alterada. Los números hacen referencia al día posterior al experimento en que se recogió la muestra. Las flechas azules y amarillas corresponden a la trayectoria en el tiempo de las parcelas Control (azul) y Alteradas (amarillas).

totalmente separadas del resto de las muestras, observándose un acercamiento de la estructura de la comunidad, conforme avanza el periodo de recuperación. La composición de la comunidad de las parcelas Afectadas empieza a asemejarse a las de las muestras Control a partir de los 15 días después de cesar la alteración por el pisoteo, y las muestras del último día de recuperación, día 60, se encuentran todas en el mismo grupo, se trate de las parcelas Alteradas o de las parcelas Control.

Variación de la composición y los rasgos biológicos de la comunidad de macroinvertebrados en las fases del experimento

Los dos primeros ejes del análisis PCA (fig. 14), explican un 53,5% de la varianza. El primer eje (37,7% de la varianza), separó las parcelas por

fecha de recuperación (tanto para las parcelas Alteradas como para las parcelas Control), concentrándose a la izquierda los días 1 y 15, en el centro los días 30 y a la derecha los días 60. Algunas familias tuvieron más peso

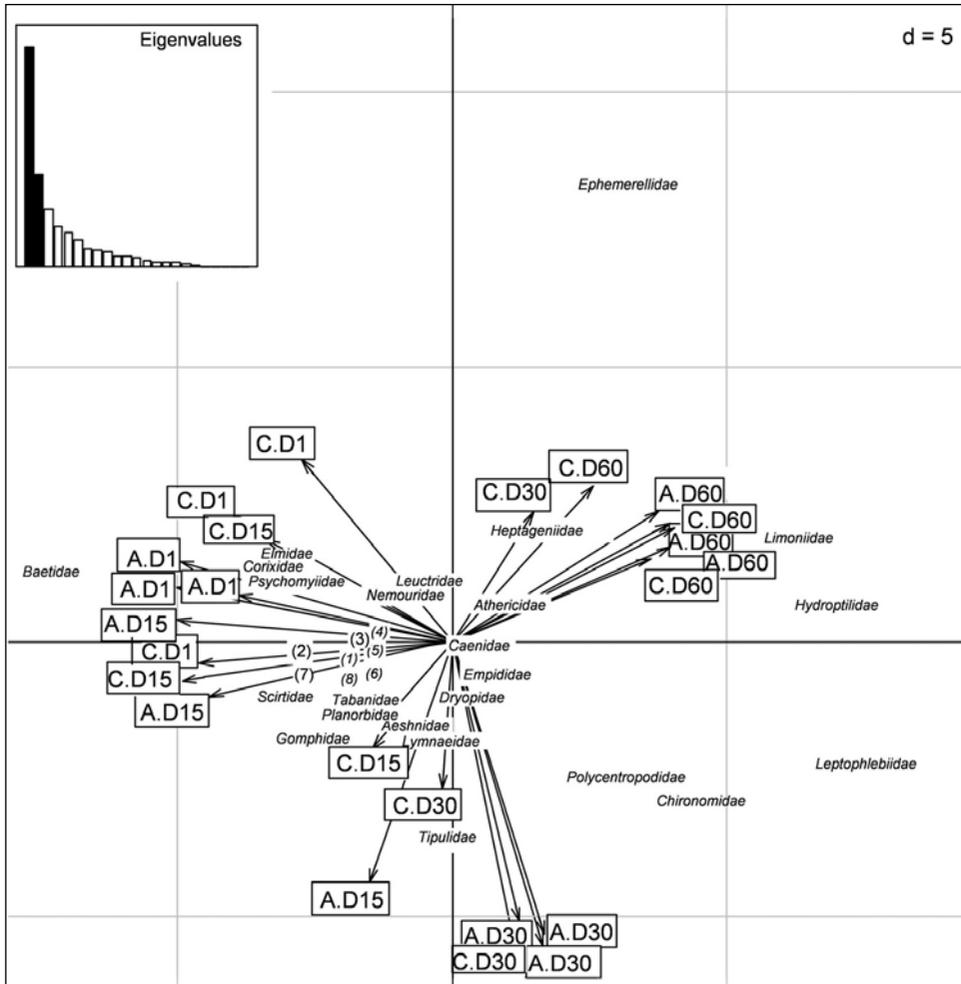


Fig. 14. Análisis de componentes principales (PCA) de la abundancia de familias con relación a los puntos de muestreo del experimento y su recuperación. Zonas: Alterada (A) y Control (C); Recuperación: día 1 (D1), día 15 (D15), día 30 (D30) y día 60 (D60). Se ha modificado la gráfica para facilitar la lectura, los números corresponden a las siguientes familias superpuestas: (1) *Leptoceridae*, (2) *Hydraenidae*, (3) *Philopotamidae*, (4) *Hydropsychidae*, (5) *Hydroptilidae*, (6) *Anthomyiidae*, (7) *Ceratopogonidae*, (8) *Simuliidae*.

que el resto en el análisis. La familia *Baetidae* dominó claramente en las muestras del día 1 y del día 15, sobre el resto de las familias también abundantes. Para las muestras del día 30 se observa dominancia de la familia *Tipulidae*, mientras que las familias *Ephemeridae*, *Hydroptilidae* y *Heptageniidae* lo son para ambos tratamientos en el día 60. El segundo eje (15,8% de la varianza) separó, principalmente, las muestras del día 30 de recuperación en valores negativos.

En el análisis de componentes principales difusos (FPCA; fig. 15), los dos primeros ejes explicaron el 51,6% de la varianza. El eje 1 (30% de la varianza) separó las familias de ambientes oligotróficos, como *Athericidae*, *Leuctridae* y *Tipulidae* (en este caso con valores positivos), de las que se encuentran en ambientes eutróficos (valores negativos del eje), como *Baetidae* y *Scirtidae*. Con el otro eje (vertical; 21,6% de la varianza), se separan las familias por estrategia trófica; en valores negativos encontramos familias de rascadores y trituradores, y en valores positivos, los predadores, representados mayoritariamente por larvas de odonatos, y no se observan dominancias taxonómicas para los rasgos biológicos de microhábitat, o por su índice saprobio.

Con ambos análisis, ya que el de coinercia realizado no resultó significativo (p valor: 0,878), podemos extraer datos sobre la evolución de la comunidad. Al inicio del periodo, y especialmente en las parcelas Alteradas, los trituradores tienen mayor importancia (*Leuctridae* y *Baetidae*) y se encuentran según la gráfica en un ambiente mesotrófico. Sin embargo, con el paso del tiempo, la comunidad cambia a familias filtradoras (*Simuliidae* e *Hydropsychidae*) con rasgos claramente mesotróficos y presencia de predadores (*Gomphidae* y *Aeshnidae*), más propios de ambientes oligotróficos.

Al final del periodo de recuperación se alcanza una comunidad representada mayoritariamente por perforadores y rascadores (*Athericidae*, *Hydroptilidae* y *Ephemerellidae*) menos tolerantes a la eutrofia y a parásitos (*Chironomidae*; la presencia de este taxón en esta posición está relacionada con la importancia de los parásitos). De estas familias, *Hydroptilidae*, perforador, domina en muestras con mesotrofia y menos saprobias, por el contrario, *Athericidae* y *Ephemerellidae* aparecen en un ambiente mesotrófico y con un índice saprobio superior (X5), a pesar de preferir ambientes oligotróficos.

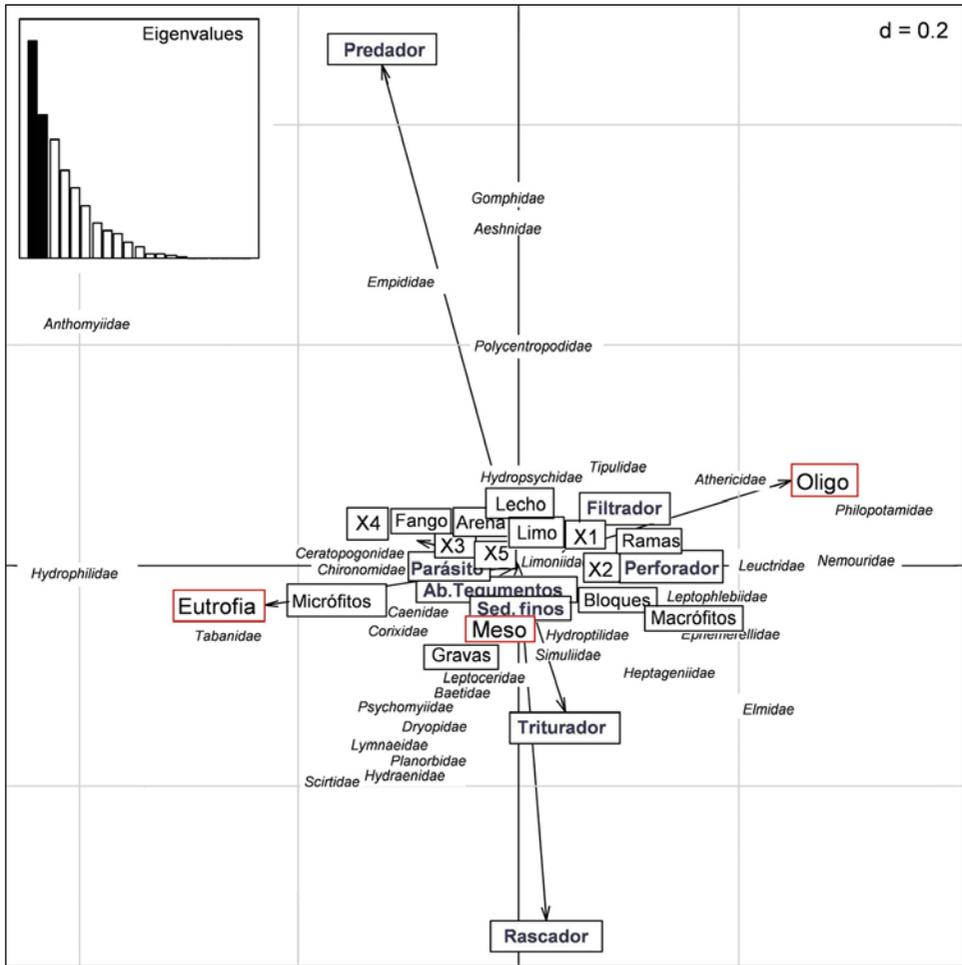


Fig. 15. Análisis de componentes principales difusos (FPCA) del experimento, teniendo en cuenta las familias encontradas durante el estudio y los rasgos biológicos considerados (la tolerancia a la contaminación, el grado de eutrofia, la alimentación, el valor saprobio y el microhábitat). Se ha modificado la gráfica para facilitar la lectura.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados del estudio muestran que, al finalizar la temporada de barrancos de 2016, las comunidades bentónicas del barranco de la Peonera fueron diferentes de las comunidades que existían al principio, sin embargo, este hecho no parece estar relacionado directa o exclusivamente con la actividad lúdica.

En ambas zonas, Alterada y Control, se produjo un incremento de clorofila *a*, por lo que no se puede considerar que exista un efecto negativo del barranquismo sobre la biomasa de productores primarios bentónicos. En el trabajo de DESCALS CERVERA (2017) se observó un incremento de la concentración de nitrato en la fuente de La Tamara, situada escasos metros por encima de la zona Control. Estos resultados sugieren una relación entre el incremento de nitrato en el río y la mayor concentración de clorofila *a* encontrada en la zona Control al final de la temporada, reduciéndose su efecto en la zona Afectada, por encontrarse algunos cientos de metros río abajo. Debe tenerse en cuenta que las surgencias son importantes para mantener un caudal constante y asegurar la continuidad del río en los años más secos (CHE, 2007a), pero a su vez, estas aguas pueden provocar cambios fisicoquímicos puntuales en los ríos (MARGALEF, 1983). En cuanto a la ratio A430:665, se encontró entre valores normales (2,3-3,5), indicando que el perifiton no presentaba estrés ambiental en ninguna de las situaciones estudiada (MARGALEF, 1983).

La calidad ecológica observada fue Moderada y Buena al inicio de la temporada y, al contrario de lo esperado, la puntuación obtenida con el índice IBMWP aumentó en ambas zonas al final de la temporada. Sin embargo, el tiempo transcurrido sí que resultó significativo para el índice IASPT, que detecta mejor las perturbaciones intermedias (OSCOZ y cols., 2005), puesto que al mismo número de taxones un descenso en el valor IASPT indicaría la posibilidad de haberse sustituido organismos sensibles a la contaminación (con alto valor en el índice IBMWP) por otros más tolerantes (de menor valor), y viceversa. Con el avance de la estación estival, se observó un incremento en el índice IASPT, el cual indicó una mejoría en la calidad del agua que afectó a ambas zonas, de lo que se deduce que los cambios están relacionados con el patrón estacional del río y no con la práctica de la actividad de ocio.

El resto de los índices se mantuvieron a lo largo de la temporada, exceptuando una ligera modificación (no significativa) en los valores de dominancia de Simpson, disminuyendo ligeramente en la zona Control, indicando una pequeña mejora en la diversidad. Estos resultados son similares a los obtenidos por HARDIMAN y BURGIN (2011a), que establecieron la falta de impacto aparente sobre los macroinvertebrados o la calidad del agua,

de manera contraria a lo previsto En el lado opuesto se encuentran los resultados de los escasos estudios realizados en la sierra de Guara (BENAYAS y cols., 1996; SIERRA GROS y LÓPEZ-FLORES, 2013), que muestran valores de riqueza y diversidad de macroinvertebrados e IBMWP elevados en los momentos previos a la temporada de barranquismo, y un descenso posterior, lo que indica la existencia de un impacto del barranquismo sobre la comunidad bentónica (SIERRA GROS y LÓPEZ-FLORES, 2013).

En cuanto a la dinámica hidrológica, como no se obtuvieron datos significativos de la relación EPT/EPT + OCH, estaríamos hablando de que el río Alcanadre es un río permanente, sin grandes sequías en el periodo estival (BONADA y cols., 2006), para la temporada estudiada 2016-2017, que puedan verse reflejadas en los indicadores biológicos utilizados en este estudio.

Por consiguiente, no se apreció afección por parte de la práctica deportiva del barranquismo sobre la biomasa de perifiton, ni sobre los indicadores de diversidad y de calidad ecológica basados en la comunidad de macroinvertebrados. Sin embargo, sí que se apreciaron diferencias en la estructura de la comunidad al final de la temporada, especialmente para la zona Control. El análisis de similitud y el NMDS hicieron patente que las muestras al inicio de la temporada presentan alta relación entre ellas, sin embargo, al final de la temporada, las muestras Control se encuentran totalmente separadas del resto, y las Alterada, aparecen más relacionadas con las muestras iniciales, que con las Control. La mayor diferencia de la zona Control, tras la temporada de barrancos, sugiere que la proximidad a la surgencia de La Tamara es un factor importante en la estructura de la comunidad. Otros autores han observado cómo un incremento o adición continua de nitrato en ríos oligotróficos tiene consecuencias sobre la comunidad de macroinvertebrados, observándose dominancia de algunas familias y la pérdida de las menos tolerantes (GENITO y cols., 2002; HARTMANN y MIHUC, 2008; ESPAÑOL y cols., 2015).

Capacidad de recuperación de la comunidad bentónica, tras un experimento de impacto controlado

Los valores de la clorofila *a* en el perifiton registrados a lo largo de los momentos de recuperación tras el pisoteo intenso demuestran que el impacto

al día siguiente de terminar el experimento es evidente. La disminución de biomasa calculada fue del 95%, presentando una recuperación rápida para el día 15, en la zona Alterada. El análisis realizado a los carotenoides, mediante la ratio A430:A665 tampoco indica que la biomasa bentónica padeciera de estrés durante la evolución del experimento.

En cuanto a la comunidad de macroinvertebrados (abundancia y composición), los resultados del experimento muestran el esperado efecto perjudicial del pisoteo asociado al barranquismo a corto plazo (día 1 posterior al experimento). No obstante, la recuperación es paulatina, igualándose la estructura de la comunidad a partir de los 30 días de recuperación, tal como ocurre en los otros estudios mencionados (HARDIMAN y BURGIN, 2011; SIERRA GROS y LÓPEZ-FLORES, 2013). Esto se produce probablemente gracias a las adaptaciones de las comunidades bentónicas a un régimen hidrológico exigente como es el mediterráneo, con estrategias vitales como la dispersión aérea o con crecimiento rápido (ALBA-TERCEDOR, 1996; BONADA y RESH, 2013), que posibilitan la recolonización rápida y la existencia de parcelas inalteradas cercanas, que actúan como fuente o reservorio.

Una de las primeras cosas observadas al analizar los resultados del experimento realizado en el Alcanadre, es la reducción significativa de la abundancia total de individuos. Tras el impacto controlado, la abundancia de individuos se redujo más del 50%. En otros estudios publicados sobre el efecto de impactos en ascenso sobre la comunidad de macroinvertebrados, encontramos que dependiendo de la magnitud del impacto se producen reducciones de entre el 14 y el 92% (ROBINSON y cols., 2004), y específicamente en el Formiga (SIERRA GROS y LÓPEZ-FLORES, 2013) se observó una reducción del total de individuos de un 70%.

El resto de los índices biológicos analizados indican igualmente un efecto negativo el día posterior a la fase de pisoteo, pero se igualan los valores al Control pasados 30 días de haber finalizado la perturbación, coincidiendo con el tiempo estimado por ALBA-TERCEDOR (1996) para volver a recolonizar el lugar afectado por una perturbación. Por el contrario, los índices de diversidad de Shannon y el de equitatividad de Pielou, en ambas zonas (Afectada y Control), no muestran una diferencia significativa para el día posterior a la finalización del experimento. En otros estudios realizados para la determinación de la variación de diversidad, tras una perturbación

(BROOKS y BOULTON, 1991; LAKE, 2000), se observan datos similares a los hallados aquí. LAKE (2000) determinó que la abundancia fluctúa considerablemente después de una perturbación, sin embargo, la riqueza de familias en la escala hábitat local puede ser sorprendentemente constante. Además, establece que la tasa de recolonización suele ser rápida, después de la perturbación (de dos a diez días). En el experimento homólogo realizado por HARDIMAN y BURGÍN (2011*b* y *a*), se observó una recuperación inmediata tras cesar la perturbación, y la composición general de la comunidad fue similar transcurridos 15 días de recuperación, igual que lo sucedido en el barranco de la Peonera.

En cuanto al valor del índice IBMWP, la incidencia del impacto responde al mismo patrón, es decir, la calidad ecológica desciende a moderado para el día 1 en la zona Afectada, mejorando paulatinamente e igualándose con la zona Control (bueno) pasados 30 días.

Cuando se analizó la estructura de la comunidad, las diferencias entre las muestras de los tratamientos son menos claras a las observadas en el seguimiento. A excepción de las muestras recogidas el día posterior al finalizar el pisoteo, en la que sí se observan claras diferencias. Es decir, la comunidad recuperó la composición taxonómica inicial en un corto periodo de tiempo (15 días) y la estructura (taxonomía y abundancia) a partir de un mes de recuperación.

*Dinámica y diversidad funcional de la comunidad
de macroinvertebrados bentónicos
en el río Alcanadre (barranco de la Peonera)*

En el seguimiento se ha observado cómo al inicio de la temporada, existe un predominio de taxones rascadores y trituradores, con mucha presencia de familias predatoras, que indican ambientes mesotróficos. Mientras que al final de la temporada, los ambientes son muy diferentes. Para la zona Alterada la presencia de familias rascadoras y filtradoras (especialmente simúlidos) es indicativa de ambientes mesotróficos, pero para la zona Control una marcada presencia de *Chironomidae*, y la abundancia de familias trituradoras que requieren abundancia de materia orgánica, marcan tendencia a la eutrofia. Esto contrasta con lo detectado en el estudio de SIERRA GROS y

LÓPEZ-FLORES (2013) para el río Formiga, que detectó una disminución de organismos dependientes del perifiton tras la temporada de barrancos.

En referencia a la comunidad analizada en el experimento, se pudo observar que en la zona Alterada del día 1 existe una dominancia de la familia *Baetidae*, mientras que para la de Control y para ambos tratamientos en las muestras del día 15 no parecen existir dominancias de ninguna familia en concreto. Las estrategias mayoritarias en este periodo son la de rascadores y trituradores de materia orgánica, de igual modo que las muestras iniciales del seguimiento. Cuando nos acercamos al día 30, aparece más abundancia de depredadores; este hecho puede ser el que influya en el descenso de la diversidad, pues coincide en el espacio temporal. Y cuando nos encontramos en el día 60, las familias dominantes cambian y se observa un aumento de familias que se alimentan de perifiton y de macrófitos (rascadoras y perforadoras).

El incremento de tricópteros hacia el otoño parece corresponder a las cualidades propias del orden en aguas en buen estado ecológico, pues presentan una gran amplitud de estrategias alimentarias (SPRINGER, 2010), especialmente de perforadores y predadores, las cuales aumentan al final del verano.

Como indica el estudio de BERNABÉU y BONADA (2014), para los flujos mediterráneos, los efemerópteros funcionan bien como indicadores de buen estado ecológico. La abundancia inicial de la familia *Baetidae*, observada en seguimiento y experimento, concuerda con esta afirmación, pues poseen estrategias tróficas que les posibilitan vivir en zonas con corriente, agarrarse a las rocas y evitar su arrastre durante el periodo de crecida (FLOWERS y DE LA ROSA, 2010); son familias altamente resistentes y resilientes a impactos de carácter físico como es el pisoteo.

En nuestro artículo hemos podido observar un aumento progresivo en el tiempo e indiferente de la zona muestreada de la familia de quironómidos, que es propio de las épocas más secas de la península ibérica, verano y principios de otoño (RIÑO y cols., 1993; MOYA y cols., 2010; ÁLVAREZ CABRIA, 2010). Se trata de una familia con diversas estrategias alimentarias, con especies aeropneústicas y poco sensibles a los cambios de la calidad en el agua, por ello es de esperar que prospere en las épocas menos favorables, cuando el volumen de agua disminuye.

En cuanto al análisis de los grupos funcionales a partir de la alimentación, se puede considerar que la comunidad de macroinvertebrados en primavera se encuentra dominada por trituradores, filtradores y rascadores, y se produce una evolución hacia comunidades con mayor presencia de predadores y perforadores, comunidades más típicas de ambientes con alta biomasa de macrófitos y perifiton, y temperaturas cálidas, como lo son los ríos mediterráneos.

Concretamente, se ha observado una importancia mayoritaria de los rascadores y de los predadores. Era de esperar este resultado, pues estos grupos alcanzan sus mayores abundancias cuando sus recursos tróficos (perifiton e invertebrados, respectivamente) alcanzan los valores más elevados (ÁLVAREZ CABRIA, 2010). Los rascadores del sustrato aparecen coincidiendo con el mayor desarrollo de los productores primarios (perifiton), especialmente en las zonas próximas a la fuente de La Tamara y por la reducción de caudal propia de la época estival. Esto sucede como consecuencia de la estabilidad hidrológica (bajo caudal) y las moderadas temperaturas que favorecen el desarrollo de las algas (RIAÑO y cols., 1993), además, en este caso concreto del incremento de nitrato procedente de la fuente.

Entre estas dos estrategias tróficas, el río Alcanadre, con características mediterráneas, presentó mayor importancia de predadores que de rascadores. Los entornos mediterráneos presentan una producción de perifiton superior a los templados (VELASCO y cols., 2003; GIORGI y cols., 2005), y hubiera sido de esperar una mayor presencia de herbívoros que de depredadores. Sin embargo, en estos ambientes la depredación es muy importante, y puede actuar como controladora de los raspadores, cuando el perifiton tiene su mayor producción (GUERRERO y cols., 2004; BONADA y cols., 2007a), como sucede el día 30 de recuperación del experimento.

Durante la temporada 2016, la fuente de La Tamara, aguas arriba del tramo de estudio, afectó a la alcalinidad y turbidez del agua y a su contenido de nitrato, el cual produjo un incremento importante de biomasa algal (DESCALS CERVERA, 2017). Este aumento de producción primaria influye enormemente en la comunidad de macroinvertebrados que se desarrollan en el tramo de estudio, y, por tanto, se debe considerar que la cercanía a la fuente de La Tamara aguas arriba enmascaró o superó los posibles efectos que se produjeron a causa del barranquismo en esta temporada.

CONCLUSIONES

Tras el análisis de las muestras del seguimiento, todo parece indicar que la fauna bentónica que habita en este cañón está naturalmente adaptada a las perturbaciones físicas frecuentes de origen natural, lo que permite una rápida recuperación de la comunidad ante una perturbación antrópica de tipo mecánico, como es la del barranquismo. Incluso en este río podría considerarse que esta perturbación pudiera ser un impacto menor, por las características morfológicas del cauce, más ancho, que permite absorber de manera más equilibrada el paso de barranquistas, y porque su anchura posibilita la existencia de zonas no impactadas próximas, que sirven de fuente de organismos colonizadores cerca de las zonas de perturbación, conclusión a la que se llega al analizar que los niveles de impacto detectados durante el seguimiento no alcanzan los simulados durante el experimento, como sí ocurre en otros barrancos con frecuentación similar pero menor caudal y ancho del cauce, como en el río Formiga.

El índice de biomasa de perifiton mostró que, tras la perturbación continua de pisoteo durante siete días, existe un claro descenso (95%) de la concentración de clorofila *a*, sin embargo, esta se recupera a partir del día 15 y alcanza los niveles del control a partir de los 30 días posteriores a finalizar el impacto.

El pisoteo controlado durante el experimento también presentó un efecto perjudicial sobre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y en el recubrimiento de perifiton a corto plazo. Ello se tradujo en reducciones importantes de la abundancia total de individuos (> 50%) y otros índices biológicos como la riqueza y la calidad ecológica.

El análisis de la comunidad en este río nos ha indicado poca variación tras el pisoteo, y una pronta recuperación igualándose ambos tratamientos en quince días. Sin embargo, en el seguimiento, se han podido observar diferencias en la comunidad al final de la temporada de la zona Control a la zona Alterada, lo que recalca la importancia que el aumento del perifiton posee sobre la estructura de macroinvertebrados, ocasionada por el aporte de nitratos adicional de la surgencia.

El incremento del grado de eutrofia (leve y correspondiente a niveles naturales) asociado a la fuente de La Tamara enmascara el impacto potencial

del barranquismo, siendo más importante para la comunidad bentónica el incremento de producción primaria que se produce al final de la temporada, sobre todo en la zona Control.

Finalmente, la realización de este trabajo corrobora la gran importancia de realizar estudios que determinen la evolución natural de las comunidades bentónicas bajo la presión del barranquismo, que nos permitan tener información de referencia para determinar el grado de impacto (severo, moderado o leve) que una perturbación ocasiona en el medio acuático, ya que esta información no es generalizable a todos los cañones como se ha podido comprobar en los escasos estudios realizados.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado gracias a la financiación del proyecto JIUZ-2015-TEC-09 de la Convocatoria de Proyectos de Jóvenes Investigadores, convocada por el Vicerrectorado de Política Científica de la Universidad de Zaragoza, con mecenazgo de la Fundación Ibercaja.

Asimismo debemos agradecimiento a todos los amigos y familiares que directamente colaboraron en los muestreos y/o indirectamente sirvieron de apoyo y ánimo para la realización de este estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBA-TERCEDOR, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas. En A. Pulido Bosch (coord.), *IV Simposio sobre el agua en Andalucía*: II, 203-213. ITGE. Madrid.
- ALBA-TERCEDOR, J., P. JÁIMEZ-CUÉLLAR, M. ÁLVAREZ y cols. (2002). Caracterización del estado ecológico de ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP). *Limnetica*, 21 (2): 175-185 (doi: <http://hdl.handle.net/2445/32903>).
- 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*. Universidad de Cantabria. Santander.
- BENAYAS, J., R. BLANCO y R. PRIEBE (1996). *Análisis de los impactos ocasionados por el barranquismo en el Parque de la Sierra y Cañones de Guara. Propuesta de regulación*. DGA. Zaragoza.

- BERNABÉU, M., y N. BONADA (2014). *Macroinvertebrate variability in mediterranean and temperate streams: unimpacted and impacted river basins*. Department of Ecology University of Barcelona. Barcelona.
- BONADA, N., N. PRAT, A. MUNNÉ y cols. (2002). Criterios para la selección de condiciones de referencia en los ríos mediterráneos. Resultados del proyecto GUADALMED. *Limnetica*, 21: 99-114.
- BONADA, N., M. RIERADEVALL, N. PRAT y V. H. RESH (2006). Benthic macroinvertebrate assemblages and macrohabitat connectivity in Mediterranean-climate streams of northern California. *Journal of the North American Benthological Society*, 25: 32-43 (doi: 10.1899/0887-3593(2006)25[32:BMAAMC]2.0.CO;2).
- BONADA, N., S. DOLÉDEC y B. STATZNER (2007a). Taxonomic and biological trait differences of stream macroinvertebrate communities between mediterranean and temperate regions: Implications for future climatic scenarios. *Global Change Biology*, 13: 1658-1671 (doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01375.x).
- BONADA, N., M. RIERADEVALL y N. PRAT (2007b). Macroinvertebrate Community Structure and Biological Traits Related to Flow Permanence in a Mediterranean River. *Hydrobiologia*, 589: 91-106 (doi: 10.1007/s10750-007-0723-5).
- BONADA, N., y V. H. RESH (2013). Mediterranean-climate streams and rivers: geographically separated but ecologically comparable freshwater systems. *Hydrobiologia*, 719: 1-29.
- BROOKS, S. S., y A. J. BOULTON (1991). Recolonization Dynamics of Benthic Macroinvertebrates after Artificial and Natural Disturbances in an Australian Temporary Stream. *Ecology*, 65 (1): 295-308.
- CHE (2007a). *Plan hidrológico del río Alcanadre*. CHE. Zaragoza. 257 pp.
- CHE (2007b). *Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la Directiva Marco del Agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- DESCALS CERVERA, S. (2017). *Efectos del barranquismo en la calidad físico-química y microbiológica del agua, en los ríos Formiga y Alcanadre (Parque Natural de la Sierra y los Cañones de Guara, Huesca)*. Universidad de Zaragoza. Zaragoza.
- DOLÉDEC, S., y D. CHESSEL (1994). Co-inertia analysis: an alternative method for studying species-environment relationships. *Freshwater Biology*, 31 (3): 277-294.
- ELÓSEGI, A., y S. SABATER (2009). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Fundación BBVA. Bilbao.
- ESPAÑOL, C., B. GALLARDO, F. A. COMÍN y M. R. PINO (2015). Constructed wetlands increase the taxonomic and functional diversity of a degraded floodplain. *Aquatic Sciences*, 77: 27-44 (doi: 10.1007/s00027-014-0375-2).
- FLOWERS, R., y C. DE LA ROSA (2010). Ephemeroptera. *Revista de Biología Tropical*, 58 (4): 63-93.

- GENITO, D., W. J. GBUREK y A. N. SHARPLEY (2002). Response of Stream Macroinvertebrates to Agricultural Land Cover in a Small Watershed. *Journal of Freshwater Ecology*, 17: 109-119 (doi: 10.1080/02705060.2002.9663874).
- GIORGI, A., C. FEIJÓO y G. TELL (2005). Primary producers in a Pampean stream: temporal variation and structuring role. *Biodiversity & Conservation*, 14: 1699-1718.
- GUERRERO, C., M. R. VIDAL-ABARCA, M. L. SUÁREZ y cols. (2004). Estructura de tamaño de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en un río de características semiáridas durante el estiaje (río Chícamo, S. E. de España). *Limnetica*, 23: 37-56.
- HARDIMAN, N. J. (2003). *Visitor impact management in canyons of the Blue Mountains, New South Wales*. Western Sydney University (Thesis Collection). Sydney.
- HARDIMAN, N., y S. BURGIN (2011a). Comparison of stream macroinvertebrate assemblages in canyon ecosystems of the Blue Mountains (Australia) with and without recreational traffic: A pilot study in impossible terrain. *Australian Zoologist*, 35 (3): 757-769.
- HARDIMAN, N., y S. BURGIN (2011b). Effects of trampling on in-stream macroinvertebrate communities from canyoning activity in the Greater Blue Mountains World Heritage Area. *Wetlands Ecology and Management*, 19 (1): 61-71 (doi: 10.1007/s11273-010-9200-4).
- HARTMANN, E. A., y T. B. MIHUC (2008). Composition and abundance of stream macroinvertebrates as a determinant of water quality up and down stream of the imperial dam, Saranac river, New York. *Stream macroinvertebrates. Scientia Discipulorum*, 3 (1): 21-27.
- JÁIMEZ-CUÉLLAR, P., C. E. SAINZ-CANTERO, A. SÁNCHEZ-ORTEGA y cols. (2002). *GUADALMED protocol (PRECE)*. *Limnetica*, 21: 187-204.
- 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 (2): 191-194.
- LACOSTA ARAGÜÉS, A. J. (2002). *Los deportes de aventura y su incidencia en el desarrollo turístico de un espacio protegido: el Parque Natural de los Cañones y la Sierra de Guara (Huesca)*. Universidad de Almería. Almería.
- LAKE, P. S. (2000). Disturbance, patchiness, and diversity in streams. *Journal of the North American Benthological Society*, 19 (4): 573-592.
- MAPAMA (2013). *Protocolo de cálculo del índice IBMWP*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.
- MARGALEF, R. (1983). *Limnología*. Omega. Barcelona.
- MOYA, N., T. OBERDORFF y C. ROSALES (2010). Comparación de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos intermitentes y permanentes del altiplano boliviano: Implicaciones para el futuro cambio climático. *Ecología Aplicada*, 8 (1-2): 105-114.

- NEGISHI, J. N., y J. S. RICHARDSON (2006). An experimental test of the effects of food resources and hydraulic refuge on patch colonization by stream macroinvertebrates during spates. *Journal of Animal Ecology*, 75: 118-129 (doi: 10.1111/j.1365-2656.2005.01027.x).
- OKSANEN, J., F. G. BLANCHET, M. FRIENDLY y cols. (2018). *Vegan: Community Ecology Package. R. package version 2.5-2*.
- OSCOZ, J., R. LEUNDA, P. MANUEL y cols. (2005). Calidad biológica de las aguas en el río Erro. *Ecología*, 19: 59-74.
- PRAT, N., B. RÍOS, R. ACOSTA y M. RIERADEVALL (2006). Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. En E. Domínguez y H. R. Fernández (eds.), *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos*: 631-654. Tucumán. Fundación Miguel Lillo.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2015). *R: A Language and Environment for Statistical Computing. The R Foundation for Statistical Computing*. Viena. <[http:// www.R-project.org](http://www.R-project.org)>
- RIAÑO, P., A. BASAGUREN y J. POZO (1993). Comunidades de macroinvertebrados del río Aguera (País Vasco-Cantabria). *Limnetica*, 9: 19-28.
- ROBINSON, C. T., S. AEBISCHER y U. UEHLINGER (2004). Immediate and habitat-specific responses of macroinvertebrates to sequential, experimental floods. *Journal of the North American Benthological Society*, 23: 853-867.
- SAMO LUMBRERAS, A. J., A. GARMENDIA SALVADOR y J. A. DELGADO (2008). *Introducción práctica a la Ecología*. Pearson Educación. Madrid.
- SHANNON, C. E., y W. WEAVER (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press. Urbana (IL).
- SIERRA GROS, J. (2013). *Efecto del barranquismo sobre los macroinvertebrados acuáticos y su recuperación en el río Formiga (Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara, Huesca)*. Universidad de Zaragoza. Zaragoza.
- SIERRA GROS, J., y R. LÓPEZ-FLORES (2013). Efectos del barranquismo sobre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el río Formiga. *Lucas Mallada*, 15: 161-190.
- SOTOMAYOR, G. (2016). *Evaluación de la calidad de las aguas superficiales mediante técnicas de estadística multivariante: Un estudio de caso en la cuenca del río Paute, al sur de Ecuador*. Universidad Nacional de La Plata. La Plata.
- SPRINGER, M. (2010). Trichoptera. *Revista de Biología Tropical*, 58: 151-198.
- TACHET, H., P. RICHOUX, M. BOURNAUD y P. USSEGLIO-POLATERA (2000). *Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie*. CNRS éditions. París.
- THIOULOUSE, J., D. CHESSEL, S. DOLÉDEC y J. OLIVIER (1997). ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing*, 7 (1): 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? *Hydrobiologia*, 422-423: 153-162.
- VALLE MELENDO, J. del (1997). Precipitaciones máximas en la sierra de Guara y su entorno. Cálculo de valores para diferentes periodos de retorno. *Lucas Mallada*, 9: 171-182.
- VELASCO, J., A. MILLÁN, M. VIDAL-ABARCA y cols. (2003). Macrophytic, epipellic and epilithic primary production in a semiarid Mediterranean stream. *Freshwater Biology*, 48: 1408-1420.

ESTUDIO HIDROQUÍMICO DEL RÍO ISUELA (HUESCA)

Héctor SAMPIETRO¹ | Raquel ZUFIAURRE² |
Rocío LÓPEZ-FLORES³ | José Antonio CUCHÍ⁴

RESUMEN.— El río Isuela es un modesto curso con problemas por detracción de caudales y aportación de aguas residuales urbanas y efluentes de regadío. En este artículo se realiza su estudio hidrológico y fisicoquímico. Se han calculado diversos parámetros de forma, relieve, red hidrográfica y cobertura del suelo. También se han realizado aforos y muestreos de agua para análisis fisicoquímicos: conductividad eléctrica, pH, T^a, oxidabilidad al permanganato, alcalinidad y los iones HCO₃⁻, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺, y elaborado los diagramas hidroquímicos de Piper y Stiff. El río tiene una compleja hidrología y, prácticamente, queda seco en tres puntos distintos. En la parte final se recarga por aguas subterráneas y por el vertido de la EDAR de Huesca, *de facto* su afluente más importante.

ABSTRACT.— The Isuela River is a modest water stream with problems due to the reduction of flows and the contribution of urban wastewater and

Recepción del original: 10-1-2019

¹ hectorsampietro@gmail.com

² Departamento de Química Analítica. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. zufi@unizar.es

³ Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Área de Ecología. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. rocio.lopez@unizar.es

⁴ Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Área de Ingeniería Agroforestal. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. cuchi@unizar.es

irrigation effluents. In this work a hydrological and physicochemical study of the river is carried out. Several parameters of shape, relief, hydrographic network and land cover have been calculated. Gauging and water sampling have been carried out for physicochemical analysis: electrical conductivity, pH, T^a , oxidability to permanganate, alkalinity and the HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ and K^+ . In addition, the Piper and Stiff hydrochemical diagrams were prepared. The river has a complex hydrology and practically remains dry in three different points. In the final part the river is recharged by underground water and by the discharge of the WWTP of Huesca, in fact its most important tributary.

KEY WORDS.— Isuela River, hydrochemistry, hydrology, Huesca (Spain).

INTRODUCCIÓN

El río Isuela es un modesto cauce que nace en las estribaciones meridionales de la sierra de Bonés, alimenta el embalse de Arguis y vierte sus aguas en el río Flumen a la altura de Buñales, tras pasar por Huesca. En su estado natural, el Isuela es un río mediterráneo. Sin embargo, y desde hace siglos, es un río muy antropizado que ha aportado su agua para los sistemas de riego de Nueno, Arascués, Igríes y, sobre todo, Huesca, para lo que se construyó el embalse de Arguis. Además, aguas abajo de Huesca el río recibe sus aguas residuales, hoy tratadas en la EDAR de Huesca.

El río ha sido estudiado desde diferentes puntos de vista. Probablemente, el más detallado es el dedicado a la historia de su regadío: LALIENA (coord.) (1994), GARCÉS (2006), GARCÉS y CUCHÍ (2008) y otros autores. A nivel hidrológico, posiblemente el primer trabajo fue el realizado por SÁNCHEZ (1988). Diversa información hidroquímica aparece en BESCÓS (1991), MONESMA y cols. (1994), LARREY y cols. (1997), DARWICHE (2012), DARWICHE y COMÍN (2014), MONAJ y cols. (2014), MONCAYOLA (2015) y ZUFIAURRE y cols. (2015 y 2017). Sin embargo, no parece haber un estudio que englobe ambos aspectos a lo largo de todo el río.

La combinación de los flujos naturales, la gestión humana del agua y las actividades de la cuenca hacen que tanto la hidrología como la hidroquímica del Isuela se puedan calificar, cuanto menos, de complejos. Este artículo tiene como objetivo presentar los datos de una campaña de aforos y muestreos hidroquímicos a lo largo de todo el río, realizado en la primavera de

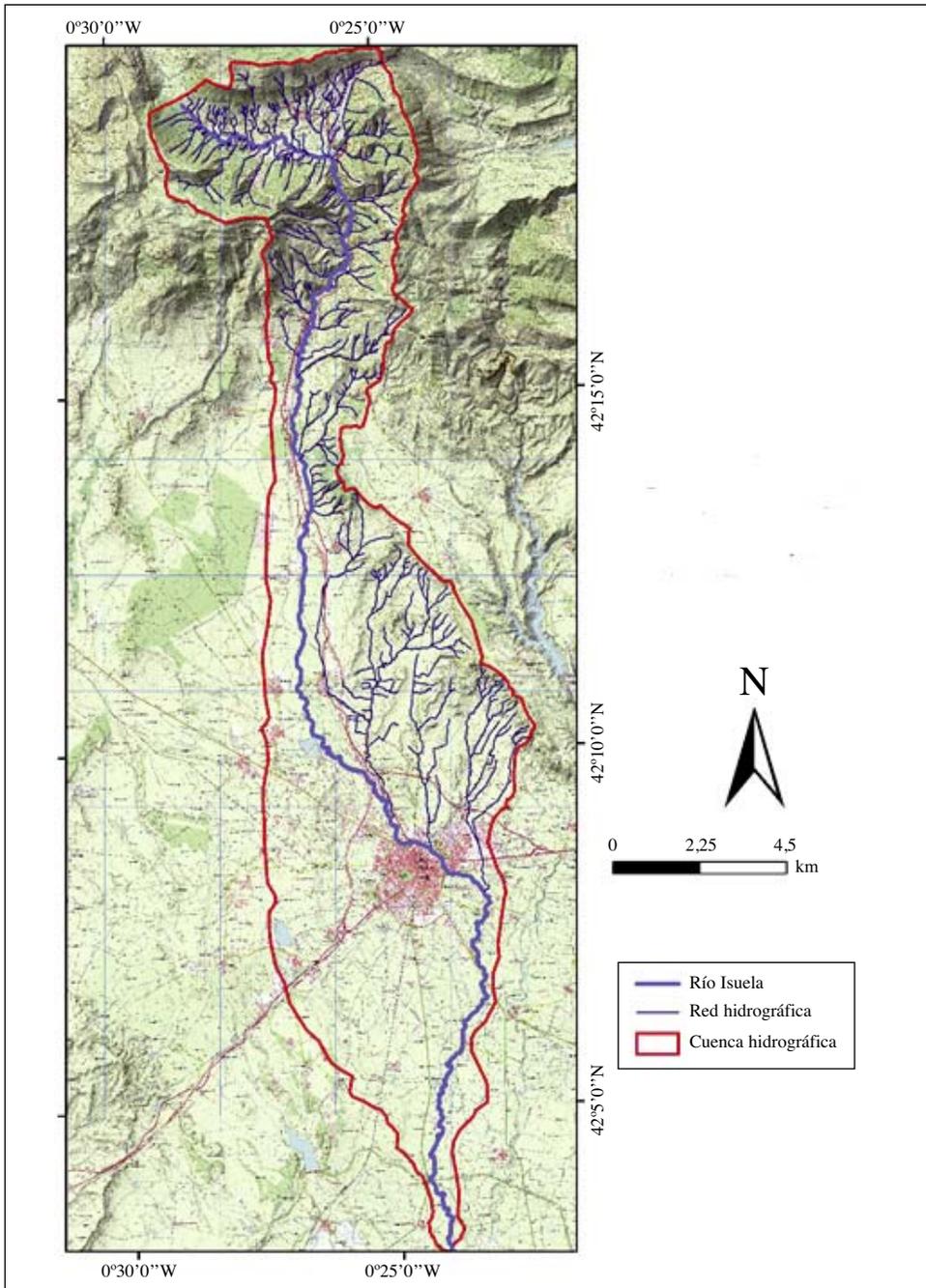


Fig. 1. Cuenca hidrográfica del río Isuela y su red hidrográfica. (Héctor Sampietro)

2017. Es parte del trabajo fin de grado en Ciencias Ambientales del primer firmante, codirigido por el resto de los autores. Por otra parte, se realizó un estudio biológico que, por sus características singulares y la extensión de los resultados, se presentará en una comunicación específica.

EL MARCO NATURAL

La cuenca del Isuela se distribuye entre el Prepirineo y el somontano oscense. En el primero, se pueden diferenciar la depresión de Arguis, en las margas grises del Eoceno medio, y el cañón del Isuela, que se abre en el cabalgamiento frontal del Pirineo, formado por calizas del Muschelkalk, Cretácico superior y Eoceno medio (formación Guara). En la zona superior, es relativamente sencillo delimitar su divisoria de aguas, con las cuencas del Flumen y de la Garona de Rasal.

En el somontano, el río entra en las arcillas y areniscas del Mioceno de la cuenca del Ebro, muy recubiertas por materiales cuaternarios. Por el este, la divisoria está controlada por el escarpe de Sabayés y Fornillos hasta las cercanías de Huesca. A partir de aquí, la cercanía del Flumen y el desarrollo del regadío complican el trazado. Sin embargo, por el oeste, la divisoria con el barranco de la Bala, en el carrascal del saso de Arascués, está mucho menos definida. Al sur de Huesca sucede lo mismo, en la alberca de Loreto y en los restos del carrascal de Pebredo. El giro del barranco de la Bala por Banariés, Cuarte, Torón y Valdabra limita definitivamente la cuenca del Isuela. La figura 1 muestra la delimitación de la cuenca realizada en este artículo.

Morfología del río y su cuenca

El río Isuela tiene una longitud de 43,38 kilómetros. Salvo el barranco de Manjarrés, que desemboca en el Isuela cerca de la ermita de Jara, la mayor parte de sus afluentes son temporales salvo el afluente subterráneo que aflora al pie de la cueva de Sanclemente, y que tiene a esta como aliviadero.

La cuenca tiene una superficie de 132,79 km² con un perímetro de 78,99 kilómetros. Es una cuenca alargada, con un valor de C_g superior a

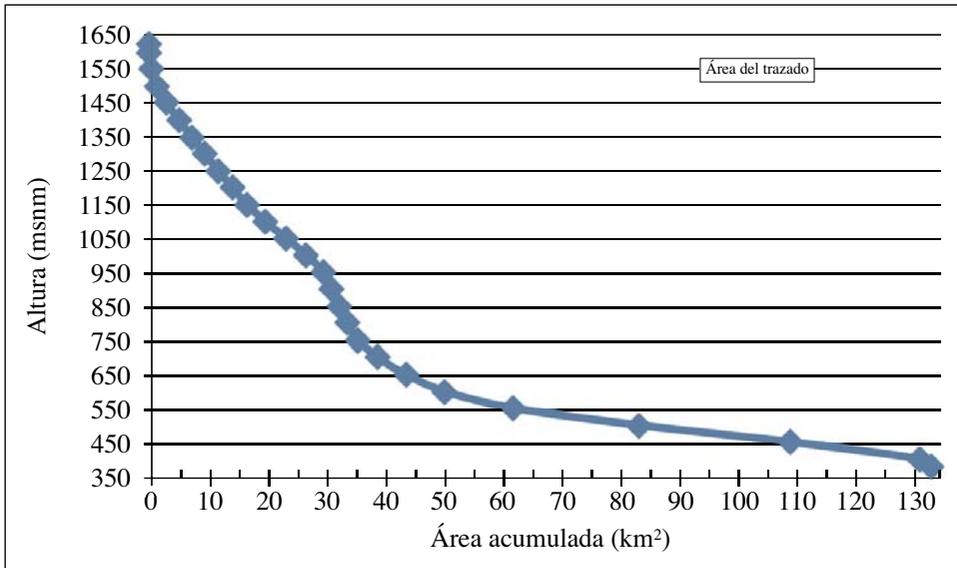


Fig. 2. Curva hipsométrica de la cuenca hidrográfica del río Isuela.

1,75, un R_f muy inferior a 0,22, valores R_c , C_c y K_f muy cercanos a 0 y unos desproporcionados lados mayor y menor del rectángulo equivalente, etcétera (TRAGSA, 1998). Es aparentemente simétrica en cuanto a la superficie por orillas, 67,84 y 63,96 km², respectivamente, con un índice asimétrico de 1,061. Pero la mayoría de los cauces secundarios, todos temporales, están en la orilla izquierda. El pico del Águila (1619 metros) es la cota más alta. La desembocadura se produce hacia la cota 378 metros. El cauce propio tiene un desnivel de 710 metros, por lo que la pendiente media del río es relativamente baja (1,64%). La pendiente más elevada se da en el congreso del Isuela, desde el embalse de Arguis hasta Nueno, con una diferencia de 271 metros en 5,5 kilómetros y una pendiente del 4,93%. El total de la red de drenaje alcanza los 272,38 kilómetros y obtiene un índice de 5 en la clasificación de Strahler, ya desde el embalse de Arguis. La tabla I presenta la parametrización de la cuenca en relación con el orden de cauces, y la tabla II, los diversos parámetros de forma, de relieve y de la red hidrográfica de la cuenca del río Isuela. La figura 2 muestra la curva hipsométrica, típica de un cauce con cabecera de montaña y cuenca baja en el llano.

Tabla 1. Índices de Strahler de la cuenca del río Isuela.

<i>Orden del cauce (índice de Strahler)</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Número de cauces de orden u (Un)	371	116	32	5	1
Longitud total de los cauces de orden u (Lt)	119,04	65,44	33,39	16,21	38,30
Relación Lu (Lt / Nu)	0,32	0,56	1,04	3,24	38,30
<i>Relación de cauces</i>	<i>1/2</i>	<i>2/3</i>	<i>3/4</i>	<i>4/5</i>	<i>Media</i>
Relación de bifurcación (Rb)	3,20	3,625	6,4	5	4,56
Relación de longitud (Rl)	0,57	0,54	0,32	0,42	0,08

Hidrología del río Isuela

En régimen natural, el Isuela sería de tipo mediterráneo relacionado con las lluvias de primavera y de otoño, y estiajes en invierno y en verano (VALLE, 1989 y 1996). Entre otros parámetros, se ha calculado el tiempo de concentración, tiempo que tardaría una gota de agua en recorrer la cuenca desde el punto más alejado a la desembocadura, mediante métodos diferentes (tabla II). Como es habitual, se obtienen diferentes valores y los más bajos no tienen sentido dado que $t_c < 5$ horas suponen velocidades medias próximas a los 2,5 m/s, totalmente imposibles en la zona baja. T_c próximos a 20 horas parecen más lógicos de esta zona. Pero caudal y velocidad del agua están muy condicionados por la gestión humana y necesitarían estudios más detallados.

Afecciones antrópicas

Como se ha señalado, la hidrología del Isuela está muy condicionada por la actividad humana. En la cabecera, la cuenca recibe modestos trasvases estacionales en invierno y en primavera. Del Garona, desde el barranco de la Barza, del siglo XVI (CUCHÍ y GARCÉS, 2008; GARCÉS y cols., 2011). De más entidad es el trasvase del Flumen, a través de la acequia de Bonés (1655 y 1657), donde el agua salta junto a Mesón Nuevo (GARCÉS, 2006; GARCÉS y cols., 2011).

Tabla II. Parámetros hidrológicos de la cuenca del río Isuela.

Tipo	Parámetro	Unidad	Magnitud	
De forma	Perímetro (P)	78,99	km	
	Área (A)	132,79	km ²	
	Coefficiente de Gravelius (C _g)	1,934	Adimensional	
	Radio de círculo de igual área	6,501	km	
	Lados del rectángulo equivalente (L y l)	36,12 y 3,68	km	
	Longitud axial (L _a)	31,38	km	
	Ancho máximo de la cuenca	7,18	km	
	Índice de alargamiento (I _a)	4,37	Adimensional	
	Factor o relación de forma de Horton (R _f)	0,07	Adimensional	
	Coefficiente de circularidad de Miller (C _c)	0,27	Adimensional	
	Índice de forma de la cuenca (K _f)	0,07	Adimensional	
	Área vertiente mayor	67,84	km ²	
	Área vertiente menor	63,96	km ²	
	Índice asimétrico (I _{as})	1,061	Adimensional	
De relieve	Altura máxima de la cuenca (CM _C)	1619	msnm	
	Altitud máxima del cauce principal (CM _c)	1090	msnm	
	Altura mínima de la cuenca (Cm _c) y cauce (Cm _c)	378	msnm	
	Altura media de la cuenca	683,4	msnm	
	Pendiente media de la cuenca	17,81	%	
	Coefficiente de masividad – F. Fournier (tgα)	5,14	Adimensional	
	Coefficiente orográfico – F. Fournier (CO)	3516,89	Adimensional	
De la red hidrográfica	Longitud del cauce principal (L _c)	43,38	km	
	Longitud total de la red hidrográfica (L _u)	272,38	km	
	Orden del cauce principal (índice de Strahler)	5	Adimensional	
	Número de cauces (N _i)	525		
	Textura	3,95	Cauces / km ²	
	Densidad de drenaje	2,05	km ⁻¹	
	Coefficiente de torrencialidad	2,79	Cauce 1.º orden / km ²	
	Pendiente media del cauce principal (J)	1,64	%	
	Alejamiento medio (a)	3,76	Adimensional	
	Relación de bifurcación (R _b)	4,56	Adimensional	
	Tiempo de concentración (t _c)	Kirpich	0,99	Horas
		California Culvert Practice	19,57	
		Témez (1978)	4,80	
		Giandotti	0,052	
V. T. Chow		3,34		
Clark		5,26		
Passini		1,51		
Sinuosidad	Línea recta (30,49 km)	1,42	Adimensional	
	Siguiendo el valle (33,85 km)	1,28		

La presa de Arguis es del tipo de gravedad de mampostería. Se finalizó en 1704, tras dieciocho años de trabajo bajo la dirección de Francisco de Artiga. Después de varias reformas, a partir de 1929 la presa alcanzó los 27,3 metros de altura, y una capacidad de almacenamiento de 2 686 000 metros cúbicos (VICENTE, 1926; JIMÉNEZ DEL YERRO, 1931; GIL OLCINA, 1972). Dispone de dos válvulas de desagüe (grande y pequeña), además de aliviadero independiente. Las válvulas tienen una capacidad de desagüe máxima de 19 m³/s, y el aliviadero, de 72 m³/s (BARRERA, 1976). Debido a problemas de aterramiento, por la alta erosionabilidad de las margas de la cubeta de Arguis, se estima su cabida actual en 2,3 hm³ (CUCHÍ, 2006).

La gestión del embalse de Arguis supone un almacenamiento invernal y en el inicio de la primavera, donde el agua suele saltar sobre el aliviadero de obra y una adición removible de madera, en años húmedos e incluso normales. A inicios de abril se hace una suelta importante (boquera, 1000 l/s), aproximadamente hasta un tercio del volumen total. Durante el verano se dan sueltas menores para riego de huertas hasta otro tercio (aproximadamente cada dos semanas, 250 l/s). Una fuerte suelta final, hacia finales de octubre, intenta eliminar los lodos depositados en la captación tubular del desagüe de fondo, afectando a las repoblaciones de peces del embalse y aportando lodos al cauce. El nivel de llenado del embalse puede seguirse a partir de los datos de la red SAIH de la CHE.

Durante una parte importante del año los azudes de Nueno, Arascués y Huesca extraen prácticamente todo el agua del cauce. El reparto entre los dos últimos responde a acuerdos antiguos reflejados en la morfología del partidor de Arascués (CUCHÍ y ANDRÉS, 2012).

De facto, en verano el río queda seco aguas abajo de Nueno, aunque comienza a recoger aguas subterráneas. Los azudes de Igríes toman más agua. En el partidor de Bastarás se devuelve temporalmente algo de agua que se retira unos metros más abajo en el azud de Coliñenigue. Algunas de las escorrentías temporales se recogen en el azud del Cajigar. Ya en las cercanías de Huesca, por el partidor de la Cruz de Palmo, desde la alberca de Cortés se vierte agua al río, que se capta en el azud del puente de San Miguel para la acequia de Almería. Salvo los desagües de las acequias de La Magantina y la fuente de Santa Lucía, al inicio, el cauce urbano hormigonado no recibe normalmente agua. Tras fuertes lluvias pueden actuar los

barrancos del Infierno y de la Alfándiga. A la altura de la ermita de Salas el río recibe los vertidos de la EDAR, de hecho el aporte artificial más destacable, que recibe agua de múltiples orígenes (SÁNCHEZ, 1988; SANCHO y PABLO, 2010). La captación principal de abastecimiento de Huesca es el embalse de Vadiello, en el Guatizalema, de donde capta 125 l/s. El alcantarillado de Huesca también recoge una importante cantidad de agua del freático, al que hay que añadir los bombeos de garajes. Además de aportar materia orgánica y nutrientes, la EDAR añade un caudal irregular que fluctúa a lo largo del día, debido a que no dispone de tanque de homogeneización. A esto hay que sumar las aguas de retorno de riego de las comunidades de Arguis y Ribera del Flumen. En el tramo final hay alguna captación por bombeo y se reciben retornos de riegos y aguas subterráneas del acuífero 55 (Hoya de Huesca).

Los sistemas de riego de la cuenca del Isuela

Cinco comunidades de regantes existen en esta cuenca. La primera de ellas, recortada por las obras de la A-23, riega en el entorno de Nueno. Inmediatamente se toma agua para los riegos de Arascués, que dispone de una balsa de regulación y un sistema de tuberías. Este sistema dispone de 2/3 del agua de viernes y sábados. En la orilla izquierda, Igriés capta agua por dos azudes en la zona de Las Paulesas (CUCHÍ, 2006; CUCHÍ y GARCÉS, 2008).

Aguas abajo de Nueno, el azud de Huesca, aquí definido como Nueno II, capta por la orilla derecha el agua de la acequia mayor de Huesca que abastece a la Comunidad de Regantes del Pantano de Arguis, localizada en torno a Huesca. Es el sistema más grande del Isuela. Dispone de un modesto embalse regulador, la alberca de Cortés, de 385 000 m³. La de Loreto (205 700 m³) solo se recarga por aguas sobrantes en una parte del invierno (GIL OLCINA, 1972; JIMÉNEZ DEL YERRO, 1931; LÓPEZ GÓMEZ, 1992; LATORRE, 1994). Se sigue un antiguo sistema de reparto de agua, por días para los diferentes términos y dentro de ellos por orden descendente. Su funcionamiento es complejo. Por ejemplo, los miércoles se devuelve agua de la *acequia madre* al Isuela en la Cruz de Palma para captarla en el azud de Almería, aguas arriba del puente de San Miguel. Riega unas 2000 hectáreas de modo que gran parte del riego es deficitario y se divide en cuatro categorías de desigual dotación efectiva y alfarda. Su historia aparece descrita en LALIENA (coord.) (1994)

y SALINAS (2004). Quizás tuvo origen en el periodo ibérico (REY y cols., 2000). La urbanización afecta al uso del terreno, pero la superficie total se mantiene dado que se desplazan dotaciones hacia las zonas más meridionales del sistema.

Aguas abajo de Huesca, hay otros usuarios. La Comunidad de la Retuerta tenía derecho a aguas de la *acequia negra* de Huesca. Algunos usuarios bombean del río.

El total de superficie regable, en forma deficitaria, no supera las 2500 hectáreas. La mayor parte del agua se destina para cultivos de invierno, sobre todo cebada, que cubren aproximadamente un 80% de la superficie. El resto del agua se usa para hortalizas, maíz y alfalfa.

Aguas subterráneas

Además de la interacción directa con la lluvia, el río está alimentado por diversos acuíferos. Entre la presa de Arguis y Nueno afloran las denominadas *aguas vivas*. A pocos cientos de metros del muro de la presa, en calizas de la formación Guara, el río recibe el acuífero kárstico que drena en la fuente que abastece a Arguis y el espectacular *tropplein* de Sanclemente. Es un río subterráneo que drena las faldas de La Calma y, probablemente, llega hasta Foz Gabarda, recorrida por el gasoducto del Serrablo. Informaciones orales señalan la existencia de un río subterráneo con cuatro sifones, recorridos mediante espeleobuceo. Los únicos datos conocidos del caudal se presentan en GIMENO y CUCHÍ (1996), quienes señalan un caudal base del orden de los 50 l/s y puntas de hasta 1500 l/s.

Hacia el centro del cañón aflora un acuífero ligeramente termal (SÁNCHEZ, 1988; CUCHÍ y cols., 2003). Se utilizó en los antiguos baños de Nueno, a la altura de la ermita de Ordás, y ahora en el abastecimiento mediante sondeo de Nueno y la urbanización del campo de golf. En el tramo final hay diversas fuentes también de tipo bicarbonatado cálcico. La más conocida es la denominada de *la Rayeta*, en el primer túnel de la carretera antigua.

Ya en el somontano, desde el azud de Huesca hasta la ciudad, hay una serie de aportes de aguas subterráneas, como las fuentes de Las Paulesas y los ibones de Yéqueda, ligeramente más salinas que las anteriores. Cerca de Huesca, hay retornos de regadíos, y junto al puente de San Miguel aflora

un pequeño manantial. Aguas abajo de Huesca, especialmente por debajo del vertido de la EDAR, se descarga el acuífero de la Hoya de Huesca, que tiene un nivel alto de nitratos.

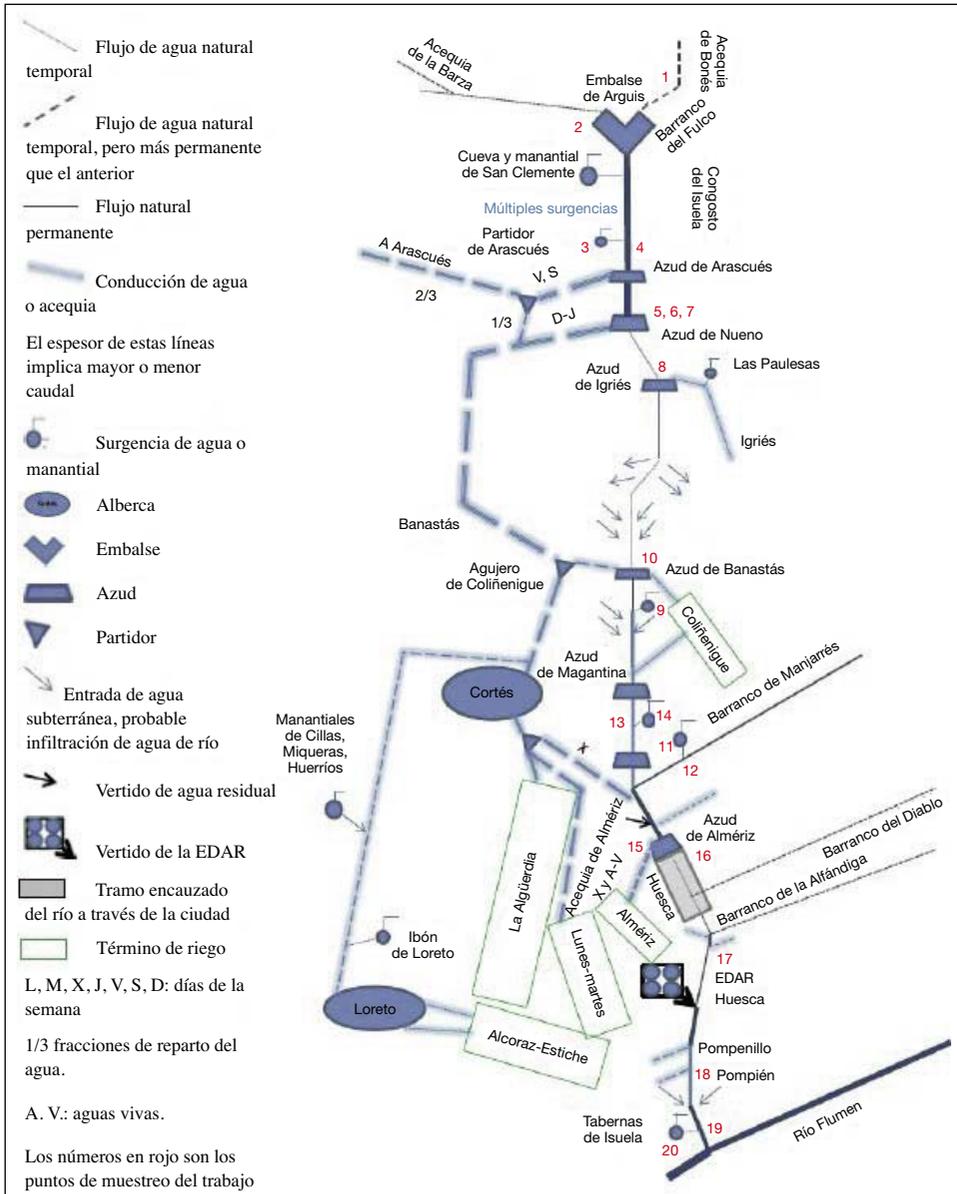


Fig. 3. Esquema hidrológico del río Isuela.

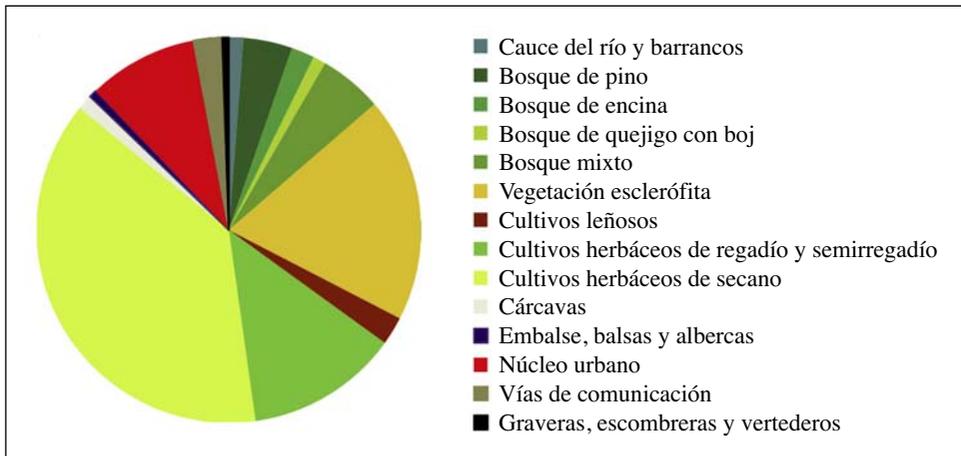


Fig. 4. Cobertura de suelo en la cuenca del río Isuela.

Con la información recogida, se ha elaborado un esquema sintético del funcionamiento hidrológico del Isuela, que se presenta en la figura 3, que puede servir de base para futuros estudios en otros momentos del año y de más detalle.

Usos del territorio

Existe una clara heterogeneidad en el uso del suelo entre las zonas alta y baja. En la primera, predominan las cubiertas naturales, las cárcavas, la roca, el matorral, el bosque y los pequeños núcleos de Arguis y Nueno. Véase, por ejemplo, CRUCHAGA (2013). La zona llana está dominada por los cultivos de secano, en unión de unas 2200 hectáreas de regadío y la zona urbana de Huesca y otras localidades. La figura 4 presenta un diagrama de la cobertura del suelo por categorías en la cuenca del Isuela.

MATERIAL Y MÉTODOS

Cartografía

Se ha realizado el correspondiente trabajo cartográfico mediante ArcGIS v 10.1, trabajando en todo momento con el datum ETRS89. Todo el trabajo cartográfico fue realizado por el primer autor.

Para delimitar la cuenca hidrográfica, se ha utilizado el mapa topográfico nacional (MTN) digital, a escala 1 : 50 000 (hojas 286 y 248, Apiés y Huesca, respectivamente). Para identificar y trazar la distribución de la red hidrográfica, se ha usado, de forma complementaria, tanto el MTN (siguiendo las convergencias de las curvas de nivel), como las ortofotos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea de 2012.

En el estudio de la red hidrográfica se ha procurado reflejar tan solo las redes de drenaje natural, o poco antropizadas. No se ha tenido en cuenta el sistema de drenaje muy antropizado del entorno de Huesca. Para elaborar la curva hipsométrica, se creó un nuevo ráster mediante una reclasificación con las líneas de ruptura cada 50 metros (a excepción de los valores máximos y mínimos), usando el MDT. Con la capa ráster creada, el SIG calculó las áreas entre dichos intervalos y la altura media en cada intervalo, y se exportaron los datos a Excel. Para el mapa de cobertura del suelo, se usaron de forma complementaria los mapas de usos agrícolas, mapas de unidades de paisaje, el visor SIGA, y, en especial, las capas del CORINE land cover. Además, se han realizado comprobaciones mediante visualización *in situ* del paisaje.

Muestreo

Se realizó una campaña de muestreo en botellas de PET, los días 29, 30 y 31 de mayo de 2017, de muestras simples, sin réplicas. A partir del conocimiento previo de la cuenca se seleccionaron veinte puntos de muestreo, en su mayoría aguas superficiales (tabla III). No se pudo muestrear, por razones de seguridad, el río inmediatamente por debajo del embalse de Arguis y el manantial de San Clemente, inferior.

Aforo

Simultáneamente, se realizaron aforos con un minimolinete Ott C2 en los puntos 1, 4, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 17, 19. Los caudales de los puntos 3, 18 y 20 se estimaron. Se calcularon mediante aforo químico en los puntos 5 y 7. El punto 14 se realizó por combinación de métodos. Los puntos 2 y 11 no se aforaron por ser aguas estancadas.

Tabla III. Puntos de muestreo. Tipo de muestra (1: agua superficial; 2: agua subterránea). Coordenadas UTM ETRS89. Tipo de determinación: Q: muestreo químico; A: aforo; B: muestro biológico. Distancia a la cabecera.

	Nombre de la muestra	Muestra	Coordenada X	Coordenada Y	Tipo de determinación	Distancia (km)
1	Mesón Nuevo	1	713070	4689209	Q, A, B	—
2	Embalse de Arguis	1	711857	4686746	Q	5,30
3	Fuente de la Rayeta	2	712048	4683931	Q	—
4	Azud de Nueno I	1	711855	4683721	Q, A, B	9,18
5	Azud de Nueno II. Fuga	1	711014	4681534	Q	12,51
6	Azud de Nueno II. Suma Q	1 + 2	711026	4681512	Q, A, B	12,52
7	Azud de Nueno II. Fuente	2	711028	4681536	Q	—
8	Vado de Igríes. Bajo Las Paulesas	1	711329	4678246	Q, A, B	16,33
9	Ibones de Yéqueda	2	711210	4673199	Q, A	—
10	Vado de Yéqueda – Banastás	1	711082	4673262	Q, A, B	21,81
11	Fuente de la Jara	2	712863	4671181	Q	—
12	Barranco de Manjarrés	1	712866	4671185	Q, A	—
13	Río Isuela en Marcelo	1	712715	4670897	Q, A, B	25,67
14	Fuentes de Marcelo	2	712728	4670918	Q, A	—
15	Acequia de Almériz	1	714053	4669070	Q, A	28,37
16	Río Isuela bajo el azud de San Miguel	1 + 2	713998	4669096	Q, A	28,38
17	Vado en Salas	1	715868	4667139	Q, A, B	31,82
18	Pompién	1	714053	4669070	Q	38,99
19	Tabernas de Isuela	1	713998	4669096	Q, A, B	42,90
20	Fuente de Tabernas de Isuela	2	715868	4667139	Q	—

Métodos analíticos

In situ se determinaron la conductividad eléctrica y la temperatura mediante una sonda WTW 3110. Las muestras se transportaron en unas pocas horas al laboratorio de Química Analítica de la Escuela Politécnica Superior de Huesca, se guardaron en nevera a 4 °C y en el menor plazo posible se determinaron diversos parámetros fisicoquímicos siguiendo los protocolos usados en dicho laboratorio. El pH se determinó mediante un pHmetro Orion Star A 111 y la CE en un Analytical Control Model 120; la alcalinidad (bicarbonatos y carbonatos), por volumetría con HCl 0,1 M; los cloruros, mediante el método de Mohr (valoración con AgNO₃); los nitratos,

mediante espectrofotómetro de absorción molecular de doble haz, AA Unicam V2, a una λ de 220 μm y corrección de interferencias por materia orgánica a 275 μm ; los sulfatos, por turbidimetría con sulfato de bario en el citado espectrofotómetro de AA a 420 μm ; el calcio, el sodio y el potasio se midieron mediante espectroscopia de emisión atómica de llama, en un Varian Spectra AA 1110. Ca^{2+} (422,7 μm); Na^+ (589,6 μm); K^+ (766,5 μm). En el mismo equipo, Mg^{2+} por absorción atómica a 202,6 μm . La oxidabilidad (presencia de materia orgánica) se determinó mediante valoración redox con permanganato potásico.

Los resultados de los parámetros químicos permitieron caracterizar las aguas mediante los diagramas de Piper y de Stiff usando el programa Diagrammes v.6.52. Los datos se trataron con un programa estadístico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evolución del caudal

La tabla IV y la figura 5 presentan los datos de los aforos. Como ya se ha señalado, el caudal del río está sometido a una profunda gestión humana y los aforos corresponden a un momento determinado, caracterizado por un invierno con abundantes nieves y una primavera lluviosa. En el momento del muestreo, funcionaba el trasvase desde el Flumen por Mesón Nuevo. Las compuertas de fondo del embalse de Arguis se encontraban en funcionamiento y no se pudo aforar ni ver la aportación de Sanclemente. Algún dato extremo de esta surgencia kárstica se encuentra en GIMENO y CUCHÍ (1996), pero en el momento del estudio no saltaba el agua por el *tropplein* superior.

No se pudo aforar en el cañón por los altos caudales y los escombros de las obras de la A-23 hasta el nuevo azud de Nueno. Aguas abajo de esta localidad, los diversos azudes retiraban prácticamente toda el agua del cauce, excepto algunas filtraciones. Sin embargo, desde el pie del azud se detectan afloramientos de aguas subterráneas, ligeramente más salinas. Hasta el azud de Igríes, el río mantiene prácticamente el mismo caudal. Aguas abajo, hacia el vado de Banastás, el río pierde caudal como ya señalaba SÁNCHEZ (1988), aunque probablemente también haya afloramientos en la parte inferior de este tramo. En el momento del muestreo, el río no recibía agua del partidador de Banastás. El azud de Coliñenigue estaba seco y no entraba agua hacia

Coliñenigue ni pasaba agua. Aguas abajo el río recibe aguas subterráneas de los ibones de Yéqueda, del barranco de Manjarrés y de las fuentes de Marcelo.

Entre Marcelo y el azud del puente de San Miguel, el caudal se duplica, por aguas superficiales y retornos de regadío. El aforo se realizó en martes, por lo que no era de esperar el tradicional retorno de la acequia madre, en la Cruz de Palmo, hasta el azud de Almería, en San Miguel. El tramo canalizado urbano solo recibe los aportes de los barrancos de la Alfándiga y del Diablo, escasos salvo en respuesta en lluvias intensas sobre sus cuencas arcillosas. En el vado de Salas, el caudal era de 10,66 l/s. Inmediatamente recibe el vertido de la EDAR de Huesca, cuyo caudal no se pudo conocer. A partir de este punto, el caudal aumenta por aguas subterráneas y retornos de riego, hasta la desembocadura en el Flumen, como ya se indicó en MONESMA y cols. (1994).

Tabla iv. Caudales medidos por punto de muestreo.

<i>Punto de muestreo</i>	<i>Número</i>	<i>Caudal (l/s)</i>
Mesón Nuevo	1	11,45
Embalse de Arguis	2	—
Fuente de la Rayeta	3	1,50
Azud de Nueno I	4	650,10
Azud de Nueno II. Fuga	5	8,91
Azud de Nueno II. Suma de caudales	6	24,07
Azud de Nueno II. Fuente	7	15,19
Vado de Igríes. Bajo Las Paulesas	8	26,11
Ibones de Yéqueda	9	10,02
Vado de Yéqueda – Banastás	10	12,86
Fuente de la Jara	11	—
Barranco de Manjarrés	12	25,27
Río Isuela en Marcelo	13	64,12
Fuentes de Marcelo	14	3,00
Acequia de Almería	15	170,06
Río Isuela bajo el azud de Almería	16	1,00
Salas	17	10,66
Pompién	18	—
Tabernas de Isuela	19	137,59
Fuente de Tabernas de Isuela	20	—

En resumen, el río sufre una profunda y prolongada influencia humana, que se puede considerar multiseccular. En condiciones normales, es decir, cuando no hay crecidas, el embalse de Arguis acumula todo el caudal de la cabecera y sus sueltas se destinan a su total captación por el sistema de riegos en Nueno. A partir de este, en al menos tres ocasiones, el río queda seco para recuperarse por aporte de aguas subterráneas, aunque se pudiera considerar permanente el barranco de Manjarrés, quizás por parte de los vertidos de Yéqueda.

Sin embargo, de hecho, el mayor aporte de caudal es el vertido de la EDAR, formado por 125 l/s del trasvase desde el Guatizalema para abastecimiento urbano de Huesca, cuya calidad se presenta en SANCHO y PABLO (2011), más agua del freático de Huesca, en parte captado directamente por los colectores y en parte resultado del bombeo de achique de los garajes. Posiblemente algunos ramales de acequia viertan también a los colectores. Esporádicamente hay que añadir las escorrentías de agua de lluvia en la zona urbana. Los resultados se presentan gráficamente en la figura 5.

Parámetros fisicoquímicos

Los resultados fisicoquímicos se presentan en las tablas V y VI. La evolución de temperatura de las aguas superficiales está condicionada por la climatología del día del muestreo y el horario. En las subterráneas, se ve un claro aumento hacia el sur, conforme se incrementa la temperatura media del punto de muestreo. Sin embargo, estos valores son más altos que las medias atmosféricas para Huesca cifrados en 12 °C.

Las muestras de agua superficiales incluidas hasta P.5 muestran un pH > 8 resultado de la interacción del agua con la roca caliza del valle, similares a los datos de ELPUEENTE y cols. (2016). Este parámetro disminuye ligeramente en el momento en que afloran las aguas subterráneas del somontano, quizás debido al efecto del abonado.

La conductividad aumenta a lo largo del río. Hasta la salida al llano aparecen conductividades típicas de aguas calcáreas al igual que se observa en MONAJ y cols. (2014) y ELPUEENTE y cols. (2016). A partir de este punto se incrementa por la aportación de aguas superficiales (barranco de Manjarrés)

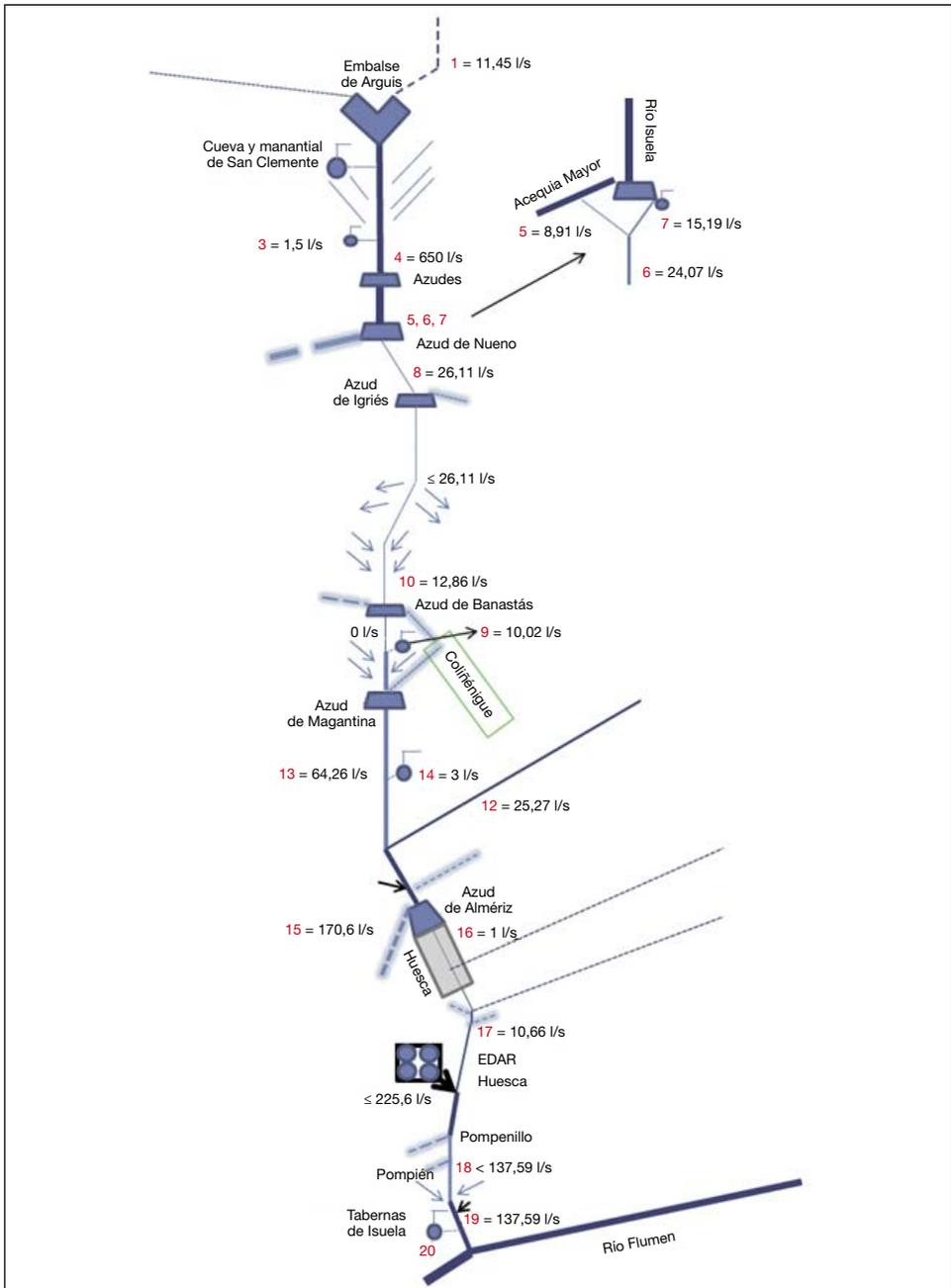


Fig. 5. Esquema hidrológico del río Isuela con los aforos realizados durante la campaña de muestreo.

y subterráneas en contacto con materiales del Mioceno, donde la alteración de las areniscas produce soluciones salinas. Aguas abajo de la EDAR, la salinidad alcanza valores relativamente altos. Puede ser debido a los efluentes de aquella, a la presencia de evaporitas en los materiales arcillosos del Mioceno o a la descarga de un acuífero artesiano profundo y salino, detectado en Monflorite y la Paúl de Estiche.

Las concentraciones de especies iónicas son las habituales en los ríos del Prepirineo, con un dominio de facies bicarbonatado cálcicas, donde el calcio supera al resto de cationes y el bicarbonato al resto de iones. En general, los iones aumentan en las aguas superficiales, hacia la desembocadura, indicando la incidencia, en la zona sur, de las facies geológicas con sus correspondientes acuíferos ligeramente salinos. Además, hay que

Tabla v. Resultados del análisis de los parámetros fisicoquímicos.

N.º	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T (°C)	Oxidabilidad (mg O ₂ /l)	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
1	8,3	351	12,2	0,2 ± 0,1	239,6 ± 7,7	292,4 ± 9,4	ND
2	8,2	405	21,2	1,3 ± 0,1	187,9 ± 3,9	229,2 ± 4,7	40,5 ± 2,8
3	7,7	695	12,9	ND	258,7 ± 3,9	315,6 ± 4,7	99,4 ± 1,8
4	8,2	455	14,0	1,0 ± 0,1	217,9 ± 1,2	265,8 ± 2,7	59,9 ± 7,2
5	8,0	478	14,0	0,7 ± 0,1	215,1 ± 3,9	262,5 ± 4,7	62,1 ± 11,9
6	7,6	731	13,1	0,1 ± 0,0	261,4 ± 1,1	318,9 ± 2,5	166,5 ± 12
7	7,4	839	12,0	ND	285,9 ± 3,9	348,8 ± 4,7	236,1 ± 26,9
8	7,9	737	15,7	0,3 ± 0,0	334,9 ± 3,8	408,6 ± 4,7	198,5 ± 10,6
9	7,5	742	13,6	ND	285,9 ± 3,8	348,8 ± 4,7	119,3 ± 8
10	7,8	739	17,2	ND	285,9 ± 3,8	348,8 ± 4,7	103,0 ± 11,2
11	7,2	1272	14,0	ND	430,3 ± 7,70	524,9 ± 9,4	149,0 ± 0,7
12	7,6	1002	17,2	0,9 ± 0,1	329,5 ± 3,8	402,0 ± 4,7	172,7 ± 20,8
13	7,8	765	16,8	ND	313,2 ± 3,8	382,1 ± 4,7	78,1 ± 18,4
14	7,1	1071	14,8	ND	370,4 ± 8,2	451,8 ± 8,7	220,8 ± 17,8
15	8,2	764	19,2	0,3 ± 0,0	294,1 ± 2,8	358,8 ± 3,9	134,5 ± 5,5
16	7,9	952	22,4	1,0 ± 0,2	321,3 ± 7,7	392 ± 9,4	180,9 ± 2,5
17	8,1	600	13,5	0,6 ± 0,1	253,3 ± 3,8	309 ± 4,7	98,0 ± 7,6
18	7,8	1118	17,1	2,3 ± 0,1	403,03 ± 0,0	491,7 ± 0,0	178,9 ± 11,3
19	7,9	1389	16,6	2,4 ± 0,3	381,25 ± 9,43	465,1 ± 11,5	293,3 ± 7,6
20	7,4	1383	14,7	ND	476,56 ± 3,85	581,4 ± 4,7	240,5 ± 19,1

considerar el efecto de la EDAR, cuyas aguas aumentan las concentraciones de Na^+ , Cl^- , K^+ y NO_3^- como indica, por ejemplo, HERNÁNDEZ (1992).

La presencia del ion nitrato en aguas superficiales y subterráneas tiene evidente interés. En las primeras, las aguas subterráneas muestran resultados similares a los presentados en ZUFIAURRE y cols. (2015 y 2017), es decir, ausencia en la zona alta y niveles elevados en el área cultivada. Destaca el valor de 45,42 mg/l para la fuente de la Jara, aunque en ningún caso se superaron los 50 mg/l marcados como límite para catalogar el agua como potable, según la legislación vigente. En las aguas superficiales, la concentración aumenta en la zona cultivada, por debajo de Igriés, aunque, en general, no se superan los 20 mg/l.

Tabla vi. Resultados de los parámetros fisicoquímicos (continuación).

N.º	Cl^- (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	Ca^{2+} (mg/l)	Na^+ (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	K^+ (mg/l)
1	8,5 ± 0,0	ND	56,3 ± 5,7	2,5 ± 0,8	4,8 ± 0,1	0,9 ± 0,0
2	17,9 ± 0,25	ND	51,7 ± 3,0	15,2 ± 3,2	9,6 ± 0,0	2,4 ± 0,0
3	52,6 ± 0,2	2,6 ± 1,6	69,5 ± 1,9	44,5 ± 3,1	16,9 ± 0,4	3,0 ± 0,0
4	20,4 ± 0,2	ND	55,2 ± 2,7	16,8 ± 4,7	10,0 ± 0,0	2,8 ± 0,2
5	21,1 ± 0,2	ND	59,2 ± 1,6	17,7 ± 5,3	10,5 ± 0,5	2,6 ± 0,1
6	30,2 ± 0,7	3,0 ± 1,2*	104,8 ± 0,7	21,2 ± 4,0	16,5 ± 0,5	3,0 ± 0,1
7	34,7 ± 1,5	5,0 ± 1,1	122,1 ± 1,6	23,8 ± 4,8	20,8 ± 0,1	3,2 ± 0,0
8	44,7 ± 2,7	6,8 ± 0,8	115,3 ± 1,2	34,5 ± 9,2	25,1 ± 0,1	3,4 ± 0,1
9	33,8 ± 1,1	15,3 ± 0,2	81,2 ± 0,3	24,5 ± 5,0	21,1 ± 1,2	2,6 ± 0,0
10	33,0 ± 0,5	25,7 ± 0,2	78,7 ± 1,2	24,0 ± 4,6	19,9 ± 1,2	2,5 ± 0,0
11	87,7 ± 3,3	45,4 ± 2,5	145,4 ± 0,9	63,6 ± 14,2	24,9 ± 0,3	5,9 ± 0,0
12	74,8 ± 0,5	22,5 ± 0,2	86,5 ± 0,6	65,7 ± 15,9	26,8 ± 1,7	6,2 ± 0,9
13	39,4 ± 0,5	20,1 ± 0,3	89,7 ± 0,4	39,9 ± 7,5	19,8 ± 1,0	2,5 ± 0,0
14	57,1 ± 0,5	35,5 ± 0,5	136,8 ± 0,7	59,3 ± 2,2	31,5 ± 1,7	3,7 ± 0,1
15	44,9 ± 2,0	15,3 ± 0,3	82,7 ± 4,5	48,9 ± 2,8	20,4 ± 1,2	3,5 ± 0,1
16	53,2 ± 1,1	14,0 ± 0,1	95,2 ± 0,1	52,0 ± 23,4	26,2 ± 1,6	6,7 ± 0,0
17	28,8 ± 1,5	4,3 ± 0,2*	74,5 ± 2,0	27,8 ± 5,3	14,7 ± 1,0	3,2 ± 0,0
18	102,8 ± 1,1	16,0 ± 0,1	111,9 ± 20,1	83,2 ± 16,6	28,4 ± 2,0	12,5 ± 0,1
19	115,0 ± 2,4	23,3 ± 0,1	130,6 ± 3,7	98,3 ± 29,3	26,3 ± 0,1	10,4 ± 1,1
20	96,8 ± 0,0	24,7 ± 0,1	147,6 ± 0,2	82,6 ± 20,9	30,4 ± 1,2	5,3 ± 0,0

* La elevada cantidad de materia orgánica disuelta con respecto a la cantidad de nitratos es muy elevada, por lo que el valor es aproximado.

En el diagrama de Piper, se observa que todas las muestras están alineadas, indicando una evidente evolución desde aguas ricas en bicarbonato cálcico hacia aguas más ricas en sodio, y una combinación de sulfatos y cloruros hacia la desembocadura. La mayor parte de las muestras son de tipo bicarbonatado cálcico, siendo mixtas conforme se avanza río abajo. Los resultados son similares a los encontrados en el acuífero de la Hoya de Huesca por TRABA (2015).

Matriz de correlación y análisis factorial de los datos

La matriz de correlaciones entre los diferentes parámetros se presenta en la tabla VII.

Los resultados obtenidos son similares a los presentados por TRABA (2015) y BOSQUE (2015). Como era de esperar, la temperatura deriva del clima y no tiene relación con la química del agua. Como es sabido, la CE está positivamente bien correlacionada con la concentración de cualquier ion, pero

Tabla VII. Matriz de correlaciones de los parámetros fisicoquímicos.

	T°	pH	CE	Oxidabilidad	HCO_3^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Cl ⁻	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
T°	1											
pH	0,287	1										
CE	0,113	-0,645**	1									
Oxidabilidad	0,437	0,371	0,207	1								
HCO_3^-	0,051	-0,616**	0,937**	0,079	1							
NO_3^-	0,148	-0,679**	0,781**	-0,098	0,786**	1						
SO_4^{2-}	0,054	-0,575**	0,841**	0,204	0,727**	0,476*	1					
Cl ⁻	0,162	-0,448*	0,937**	0,441	0,877**	0,654**	0,740**	1				
Ca^{2+}	-0,096	-0,743**	0,888**	-0,038	0,890**	0,700**	0,860**	0,741**	1			
Mg^{2+}	0,231	-0,680**	0,888**	0,101	0,868**	0,736**	0,846**	0,797**	0,830**	1		
Na^+	0,259	-0,405	0,923**	0,443	0,854**	0,655**	0,742**	0,977**	0,708**	0,824**	1	
K^+	0,314	-0,192	0,738**	0,757**	0,652**	0,400	0,617**	0,870**	0,516*	0,636**	0,847**	1

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

no con la materia orgánica y, lógicamente, tampoco a la inversa. En general, los diferentes iones presentan elevadas relaciones entre aniones y cationes, dado que provienen de sales simples. El caso más interesante es el de los nitratos de reconocido origen artificial. Su baja correlación con el potasio indica que una parte de este nitrato puede estar relacionada con la urea agrícola y que el potasio puede tener origen triple: de la hidrólisis de las ilitas naturales presentes en el suelo, del abonado y de las aguas de la EDAR.

Los resultados del análisis factorial para los parámetros fisicoquímicos se muestran en la figura 7. Se han considerado los dos primeros componentes que explican el 61,54 y el 21,57% de la varianza, respectivamente. Atendiendo al primer gráfico, la componente 1 está representada por la CE y los iones mayoritarios (eje positivo), y en menor medida por el pH (eje negativo), por lo que podría interpretarse como un indicador de la mineralización. Por otra parte, la componente 2 podría interpretarse como un indicador de la contaminación orgánica, dado que está representada por los parámetros de la oxidabilidad y del potasio.

En el segundo gráfico se puede ver claramente cómo las muestras de agua de la izquierda corresponden al tramo alto del cauce del río, principalmente, mientras que las muestras localizadas a la derecha corresponden al tramo bajo. De este modo, se marca una tendencia del aumento de la mineralización de izquierda a derecha, y, en cierto modo, de norte a sur.

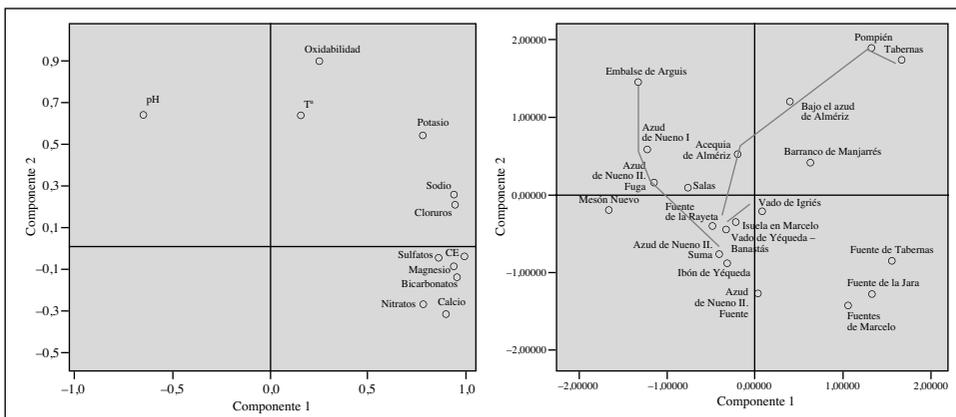


Fig. 7. Gráfico de cargas y de proyección de los puntos de muestreo para las dos componentes principales.

Atendiéndose al recorrido del río (marcado *grosso modo* con las líneas negras), se puede ver cómo el río comienza en el extremo menos mineralizado, y de pH más básico del gráfico (P.2), y acaba en la parte más mineralizada y contaminada del gráfico (puntos 18 y 19). Se marca, además, un cambio de tendencia radical a partir del P.6 (azud de Nueno II. Suma), marcando así que los cambios a partir de este punto no son progresivos, como pasa en la secuencia de los puntos 2, 4 y 5. Además, estos cambios no implican necesariamente una mineralización, sino que, tal y como se dijo en apartados anteriores, se dan situaciones inversas, como puede verse entre los puntos 8 y 10 (vado de Igriés y vado de Yéqueda – Banastás), y entre los puntos 16 y 17 (bajo el azud de Almería – Salas).

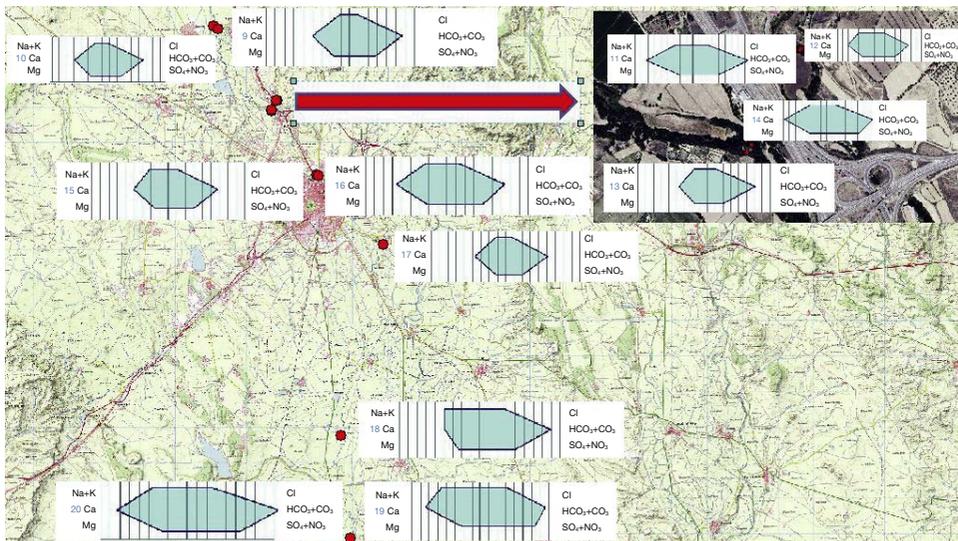
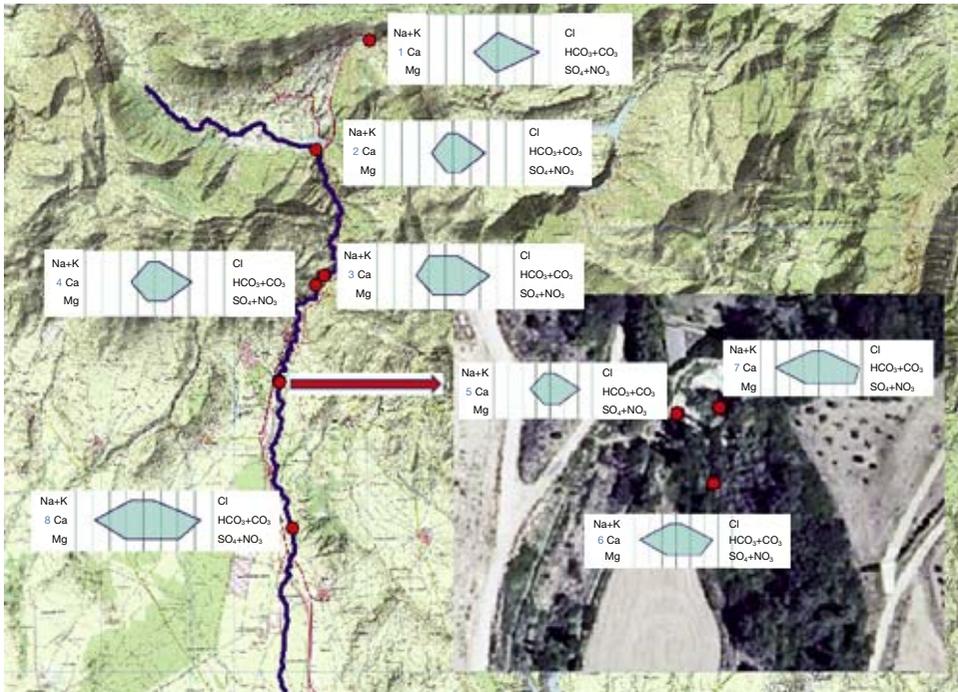
Las aguas subterráneas están más mineralizadas que las superficiales próximas. En su mayoría se encuentran en el sector negativo de la componente 2, debido a su mayor acidez, y a la ausencia de materia orgánica.

Variabilidad espacial

La variabilidad espacial de los parámetros iónicos se suele presentar bien por diagramas de Stiff o mediante la evolución a lo largo del cauce. En las figuras 8 y 9 se muestran los primeros, sobre la topografía de la cuenca. Una vez más se comprueba la dominancia de Ca^{2+} y HCO_3^- aumentando la importancia de los restantes hacia el sur, al cambiar las litologías. A partir de la EDAR se iguala la concentración de los iones Na^+ y K^+ con la del Ca^{2+} .

La evolución de los diferentes parámetros estudiados a lo largo del recorrido del río se presenta en las figuras 10 a 16. En estas se recogen los parámetros en función de la distancia al origen. En todos los casos, los rombos azules corresponden al parámetro del eje vertical izquierdo, y el cuadrado rojo corresponde al eje vertical de la derecha. No todas las escalas verticales son iguales.

Queda claro que la evolución de los parámetros fisicoquímicos en los diagramas de dispersión no siguen una sucesión uniforme y están ligados con distintos elementos antrópicos, tales como el embalse, los distintos azudes y el vertido de la EDAR; además de otros naturales, como la afluencia del barranco de Manjarrés, y aguas subterráneas.



Figs. 8 y 9. Diagramas de Stiff de aguas del río Isuela. Intervalo entre cada columna azul, de 2 meq/l.

La variación de los parámetros entre unos puntos y otros puede ser muy acusada, pero en general siguen una misma tendencia de crecimiento y decrecimiento. No obstante, se pueden encontrar interesantes excepciones. Entre los puntos 8 y 10, descienden las concentraciones de todos los iones excepto NO_3^- , que aumenta por aportación de aguas subterráneas locales cargadas de nitratos. Estos presentan una tendencia claramente decreciente entre los puntos 10, 13 y 15, mientras que para el resto de los iones la tendencia es, o bien creciente, o bien las concentraciones se mantienen más o menos constantes. Esto puede explicarse por el afloramiento de otras aguas subterráneas más bajas en nitratos. Esto es coherente con lo presentado por ZUFIAURRE y cols. (2015) quienes indican dos niveles diferentes de ion nitrato en aguas subterráneas quizás en relación con el diferente uso agrícola de los suelos cercanos, donde se aporta más en los cultivos extensivos de secano que en las zonas de huertas más urbanizadas.

Entre los puntos 17 y 18 es obvio el incremento de gran parte de los parámetros debido al vertido de la EDAR. Llama la atención que la concentración de calcio suba tanto, ya que esos vertidos no suelen tener tanto calcio a nivel general (HERNÁNDEZ, 1992). Esto se debe posiblemente a que en este tramo hay entradas de aguas subterráneas ricas en calcio o por la riqueza de este ion en el agua de abastecimiento.

En la cuenca baja, entre los puntos 18 y 19, hay divergencia de tendencias en la concentración de iones. HCO_3^- , Mg^{2+} y K^+ muestran una tendencia decreciente, mientras que crecen Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- , y, especialmente, SO_4^{2-} (especialmente este último) la tiene creciente, y ligeramente el ion Na^+ también. Es evidente que hay una nueva aportación de aguas subterráneas salinas y, por otra parte, la actividad agrícola y ganadera, que al ser más intensiva que aguas arriba genera un importante lixiviado de nitratos.

El resultado final es que todos los iones alcanzan su valor máximo en el P.19, salvo para los casos de HCO_3^- y K^+ , que obtienen su valor máximo en el P.18.

Por otra parte, la evolución de la oxidabilidad y, por tanto, de la materia orgánica no muestra las mismas tendencias que la de los iones anteriores. En todos los casos presenta valores bajos y cabe mencionar, además del vertido de la EDAR, los casos de los puntos 2 y 16. En ambos los valores

cuantificados se deben al estancamiento del agua, y es especial el caso del P.2 (embalse de Arguis), porque en un embalse la concentración de materia orgánica tiende a ser más alta en el *epilimnion*, la capa más superficial de la columna de agua (MARGALEF, 1983). Sería interesante realizar estudios limnológicos de este embalse que recibe las aguas residuales sin depurar de la localidad homónima.

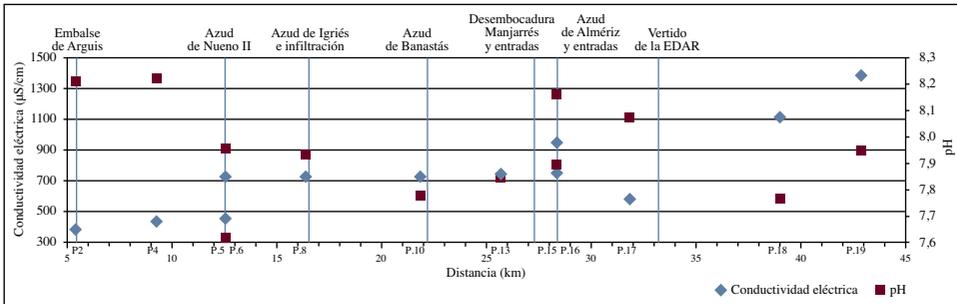


Fig. 10. Variación espacial de la CE y del pH en el río Isuela.

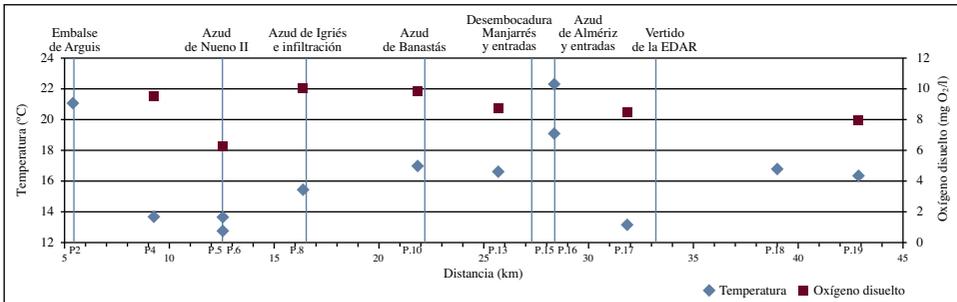


Fig. 11. Variación espacial de la Tª y de la concentración de oxígeno disuelto en el río Isuela.

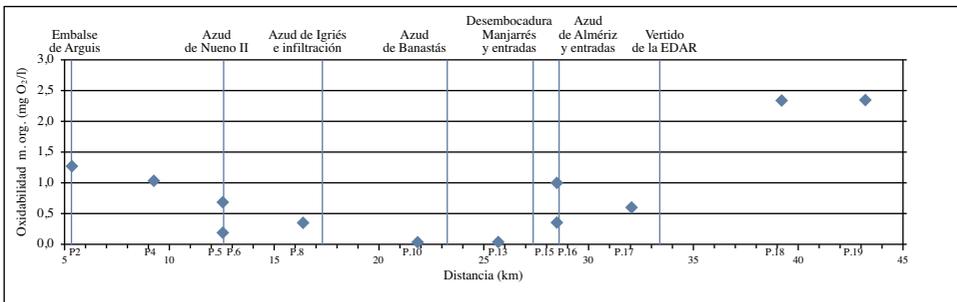


Fig. 12. Variación espacial de la oxidabilidad en el río Isuela.

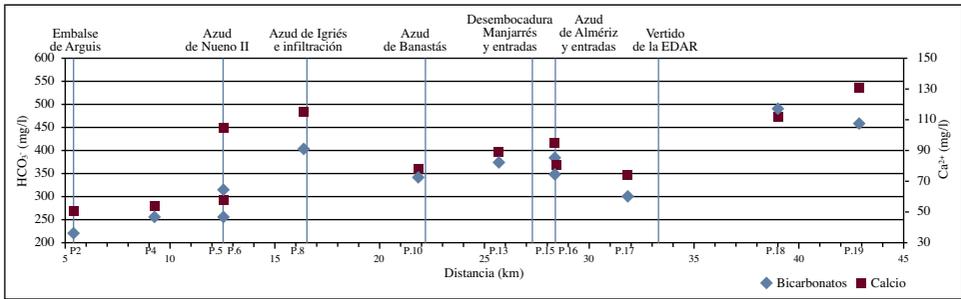


Fig. 13. Variación espacial de la concentración de HCO₃⁻ y de Ca²⁺ en el río Isuela.

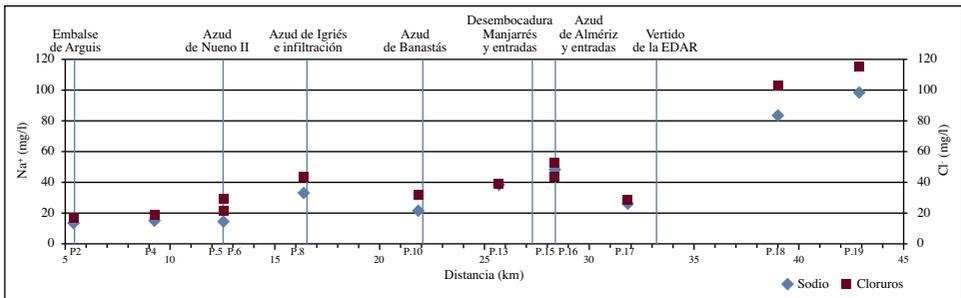


Fig. 14. Variación espacial de la concentración de Na⁺ y de Cl⁻ en el río Isuela.

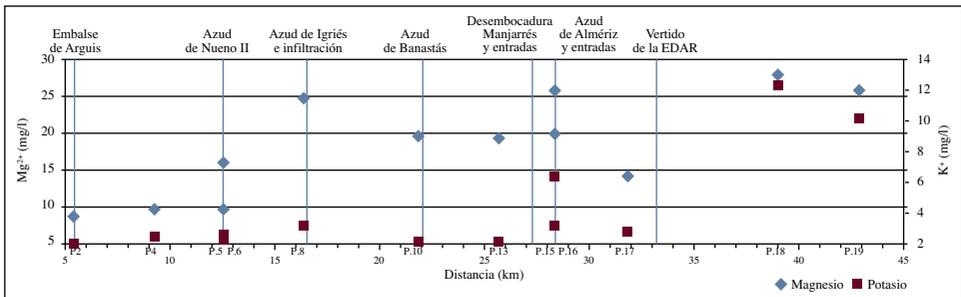


Fig. 15. Variación espacial de la concentración de Mg²⁺ y de K⁺ en el río Isuela.

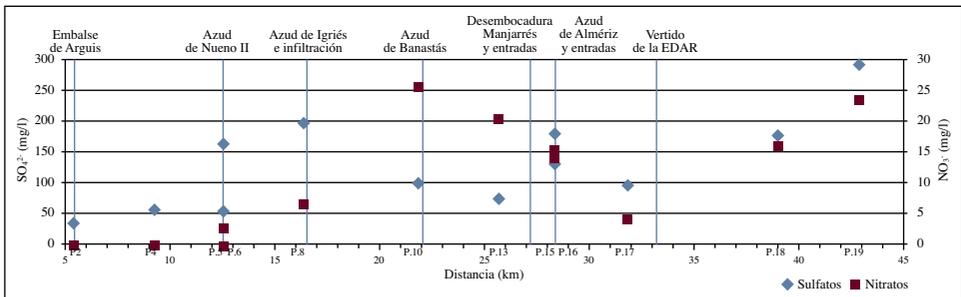


Fig. 16. Variación espacial de la concentración de SO₄²⁻ y de NO₃⁻ en el río Isuela.

CONCLUSIONES

La combinación de procesos naturales, la gestión humana del agua y las actividades de la cuenca hacen que tanto la hidrología como la hidroquímica del río Isuela sean complejas para un cauce de muy modestas dimensiones. Evidentemente, es necesario entender el funcionamiento de los trasvases y de las extracciones, la gestión del embalse de Arguis y de los sistemas de riegos, así como el impacto de la ciudad de Huesca, parcialmente amortiguado por la EDAR. Sorprende la capacidad natural del río, su resiliencia, para reconstruirse. Además algunos tramos, especialmente el ubicado por debajo del casco urbano de Huesca, son más complejos de lo inicialmente esperado. Evidentemente, los resultados solo responden al momento del muestreo.

Es inevitable realizar algún tipo de recomendación. Es evidente la dificultad práctica de aportar agua bajo los azudes de Nueno, pero es innegable que sería bueno para el río. Por otra parte, un tanque de homogeneización en la EDAR ayudaría a controlar las oscilaciones de caudal y la calidad en el bajo Isuela. Por último, resultará inevitable sugerir algún tipo de restauración del río en el cañón de Nueno, muy afectado por las obras de la A-23. Se podría intentar recrear algo de bosque de ribera en el tramo entre Nueno y Huesca, así como alguna solución menos *enérgica* para el tramo urbano canalizado en hormigón en el cauce no urbano.

Evidentemente, parece necesario estudiar el río con más detalle tanto en el espacio como en el tiempo, bajo diversas condiciones hidrológicas y de gestión del riego.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Inés Paja, José Antonio Manso y José María Garcés su ayuda en el análisis químico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRERA, M. (dir.) (1976). Embalse de Arguis. *Memoria de la CHE 1946-1975*. CHE. Zaragoza. 360 pp.
- BESCÓS, J. M. (1991). La salinidad de las aguas superficiales en el Pirineo oscense. *Lucas Mallada*, 3: 9-26.

- BOSQUE, J. (2015). *Hidroquímica de aguas superficiales y subterráneas del somontano de Huesca*. Trabajo fin de grado. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Huesca.
- CRUCHAGA, P. I. (2013). Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) a la estimación de la erosión de la cuenca del embalse de Arguis (Huesca). *Lucas Mallada*, 15: 67-84.
- CUCHÍ, J. A. (2006). Anotaciones sobre la distribución de agua en los sistemas de riego tradicionales de la zona occidental de la Hoya de Huesca. *Anales de la Fundación Joaquín Costa*, 22-23: 5-46.
- CUCHÍ, J. A., H. MILLÁN y Á. POCOVÍ (2003). Quelques informations géologiques sur les eaux thermales en relation avec les calcaires dans le Haut Aragon (Espagne). En *10^{ème} journée technique du Comité Français de la AIH. Circulations hydrothermales en terrains calcaires*: 39-46. Carcasona.
- CUCHÍ, J. A., y C. GARCÉS (2008). Aportaciones a la evolución del sistema de riegos del Isuela en la ciudad de Huesca. *Anales de la Fundación Joaquín Costa*, 25: 43-58.
- CUCHÍ, J. A., y R. ANDRÉS (2012). El partidur de Arascués: una obra hidráulica singular de la Huesca del siglo XVII. *Lucas Mallada*, 14: 31-40.
- DARWICHE, N. (2012). *Influencia de los usos del suelo sobre la calidad de las aguas y evaluación espacio-temporal de la transferencia de los contaminantes en la cuenca del río Flumen (Huesca)*. Trabajo fin de máster. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Huesca. 55 pp.
- DARWICHE, N., y F. A. COMÍN (2014). Tipificación de patrones espacio-temporales y en relación con las crecidas de NO₃⁻, sólidos en suspensión y sales disueltas en la cuenca del río Flumen (Huesca). *Lucas Mallada*, 16: 53-76.
- ELPUENTE, R., J. A. CUCHÍ, J. L. VILLARROEL y J. A. MANSO (2016). Interacción agua de lluvia – roca en calizas del valle del alto Isuela (Huesca). *Lucas Mallada*, 18: 147-177.
- GARCÉS, C. (2006). La mina de Bonés: agua y fracaso en la Huesca del siglo XVII. *Argensola*, 116: 111-170.
- GARCÉS, C., y J. A. CUCHÍ (2008). Historia de la Acequia Mayor de Huesca (siglos XII a XVII): de una orilla a otra del Isuela. *Anales de la Fundación Joaquín Costa*, 25: 59-100.
- GARCÉS, C., J. BERNUÉS y J. A. CUCHÍ (2011). El azud de Nueno y las tiras francas (1432): más sobre la historia de los regadíos del Isuela. *Argensola*, 121: 29-50.
- GIL OLCINA, A. (1972). Embalses españoles de los siglos XVII y XIX para riego. *Estudios Geográficos*, 129: 557-596.
- GIMENO, Y., y J. A. CUCHÍ (1996). El karst de la cuenca alta del río Isuela (Prepirineo, Huesca). En *Actas del Congreso sobre Recursos Hídricos en Regiones Kársticas*: 145-156. Vitoria-Gasteiz.
- HERNÁNDEZ, A. (1992). *Depuración de aguas residuales*. 2.^a ed. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. 1005 pp.

- JIMÉNEZ DEL YERRO, F. (1931). Las obras hidráulicas de la cuenca del Ebro. Labor de la Confederación. Pantanos de Santa María de Belsué, Arguis y Las Navas. *Revista de Obras Públicas*, año LXXIX (2574): 212-216.
- LALIENA, C. (coord.) (1994). *Agua y progreso social: siete estudios sobre el regadío en Huesca, siglos XII-XIX*. IEA. Huesca. 257 pp.
- LARREY, Ó., J. L. LASAOSA, R. C. DÍAZ y J. A. CUCHÍ (1997). Niveles de ion nitrato en aguas subterráneas de la Hoya de Huesca. *Kalium*, 4: 117-128.
- LATORRE, J. M.^a (1994). Regadío y producción agraria en Huesca durante el siglo XVI. En C. Laliena (coord.) (ed.), *Agua y progreso social: siete estudios sobre el regadío en Huesca, siglos XII-XIX*: 45-73. IEA. Huesca.
- LÓPEZ GÓMEZ, A. (1992). Presas y canales de riego en los siglos XVI y XVII. En A. Gil Olcina y A. Morales (eds.), *Hitos históricos de los regadíos españoles*: 91-142. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.
- MARGALEF, R. (1983). *Limnología*. Omega. Barcelona. 1919 pp.
- MONAJ, D., J. L. VILLARROEL, J. A. MANSO y J. A. CUCHÍ (2014). Reacciones agua – roca en la cuenca alta de los ríos Isuela y Flumen (Huesca). *Lucas Mallada*, 16: 169-197.
- MONCAYOLA, B. P. (2015). *Evaluación de la calidad del agua de una cuenca fluvial debido a un aumento en la afluencia del turismo. Caso del río Isuela, Huesca*. Trabajo fin de grado. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Huesca.
- MONESMA, J. I., M.^a P. CALLAO y J. A. CUCHÍ (1994). Aplicación del modelo QUALZE a los ríos Isuela y Flumen. *Actas del Congreso Nacional del Agua y Medio Ambiente*: 175-181. TIASA. Zaragoza.
- REY, J., Á. SERRETA y J. A. CUCHÍ (2000). Nota sobre una acequia perdida bajo el casco antiguo de la ciudad de Huesca. *Bolskan*, 17: 229-235.
- SALINAS, T. (2004). *Características del reparto del agua en la Comunidad de Regantes del Pantano de Arguis*. Proyecto fin de carrera. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Huesca.
- SÁNCHEZ NAVARRO, J. A. (1988). *Los recursos hídricos de las sierras de Guara y sus somontanos*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 27). Huesca. 336 pp.
- SANCHO, S., y M. PABLO (2010). Calidad del agua potable en Huesca. *Recien*, 1: 1-7.
- TRABA, L. (2015). *Caracterización hidroquímica del acuífero de la Hoya de Huesca*. Trabajo fin de grado. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Zaragoza.
- TRAGSA (1998). *Restauración hidrológico-forestal de cuencas y control de la erosión: ingeniería medioambiental*. Mundi-Prensa. Tragsatec. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 945 pp.
- VALLE MELENDO, J. del (1989). El régimen pluviométrico de la Hoya de Huesca. *Lucas Mallada*, 1: 167-188.

- VALLE MELENDO, J. del (1996). *El clima del Prepirineo central y occidental aragonés y sus somontanos*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Zaragoza. 327 pp.
- VICENTE, M. (1926). El pantano de Arguis. *Aragón*, 10: 174-175.
- ZUFIAURRE, R., L. TRABA y J. A. CUCHÍ (2015). Caracterización hidroquímica de aguas en la Hoya de Huesca. *Lucas Mallada*, 17: 17-44.
- ZUFIAURRE, R., Ó. GRACIA y J. A. CUCHÍ (2017). Evolución del contenido en nitratos en aguas subterránea de la Hoya de Huesca (marzo de 2016 – febrero de 2017). *Lucas Mallada*, 19: 185-207.

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), 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 20 (2018)

PREFACIO

¿Para qué estudiar las aves?: la ornitología en la provincia de Huesca, por Jorge SIERRA y Jorge HERNÁNDEZ

ARTÍCULOS

El canal Navarra-Aragón y proyectos asociados: el Plan Susín, por José Antonio CUCHÍ

Aproximación a la gestión del agua en Castejón de Monegros (Huesca), por José Antonio CUCHÍ, José Luis VILLARROEL y Carlos GARCÉS

Las minas de cobre en Labata (Huesca), por Pablo MARTÍN-RAMOS, José Antonio CUCHÍ, José Luis VILLARROEL y Francisco BESCÓS

Colonización y éxito reproductivo del buitre leonado (*Gyps fulvus*) en el Parque Natural de las Bardenas Reales, por Miriam BLANCO-SADA y Ernesto PÉREZ-COLLAZOS

Sobre el uso de espeleotemas en construcción en el Pirineo e Ibérica, por Pablo MARTÍN-RAMOS, Pilar LAPUENTE y José Antonio CUCHÍ

Etología de las grullas (*Grus grus*) en la alberca de Alboré (Montmesa, Huesca), por Pablo VALLÉS

Evaluación del impacto del barranquismo y la resiliencia de las comunidades acuáticas del barranco de la Peonera en el Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara, por María Luisa PÉREZ y Rocío LÓPEZ-FLORES

Estudio hidroquímico del río Isuela (Huesca), por Héctor SAMPIETRO, Raquel ZUFIAURRE, Rocío LÓPEZ-FLORES y José Antonio CUCHÍ



**INSTITUTO DE ESTUDIOS
ALTOARAGONESES**

Diputación de Huesca