



LUCAS MALLADA

17

REVISTA DE CIENCIAS

**LUCAS
MALLADA**

LUCAS MALLADA

REVISTA DE CIENCIAS

17

HUESCA, 2015



**INSTITUTO DE ESTUDIOS
ALTOARAGONESES**

Diputación de Huesca

LUCAS MALLADA

REVISTA DE CIENCIAS

INSTITUTO DE ESTUDIOS ALTOARAGONESES

(DIPUTACIÓN DE HUESCA)

Director: José Antonio CUCHÍ OTERINO

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

Secretaria: Pilar ALCALDE ARÁNTEGUI

Corrector: Isidoro GRACIA CERDÁN

Coordinación editorial: Teresa SAS BERNAD

Diseño de la portada: Vicente BADENES

Redacción y administración

Instituto de Estudios Altoaragoneses

Parque, 10. E-22002 HUESCA

Tel. 974 294 120. Fax 974 294 122

www.iea.es / 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

Lucas Mallada, **17**
ISSN: 0214-8315, e-ISSN: 2445-060X
<http://revistas.iea.es/index.php/LUMALL>
Huesca, 2015

ÍNDICE

PREFACIO

¿Por qué es importante investigar en botánica?, por Pilar CATALÁN 9

ARTÍCULOS

- Caracterización hidroquímica de aguas en la hoya de Huesca, por Raquel ZUFIAURRE, Lourdes TRABA y José Antonio CUCHÍ 17
- Estudio arqueométrico de mármoles procedentes del teatro romano de Huesca, por Hernando ROYO, Francisco Javier RUIZ, José Luis CEBOLLA, José Antonio CUCHÍ y Pilar LAPUENTE 45
- Flora vascular de la alberca de Loreto (Huesca), por Joaquín ASCASO y Javier YERA 59
- El Sobrepuerto, un espacio estratégico para la ganadería de montaña en la provincia de Huesca, por Javier SARDAÑA y Ramón REINÉ 77
- Joaquín Ximénez de Embún y Oseñalde y Florentino Azpeitia Florén: dos aragoneses en el origen del Plan General de Repoblación Forestal de España de 1939, por Ignacio PÉREZ-SOBA y Jesús PEMÁN 105
- Posibles efectos de la erupción de Laki (Islandia) en 1783-1784 sobre el Alto Aragón, por José Antonio CUCHÍ 159
- Estudio poblacional y biométrico del tritón pirenaico en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, por Víctor Julián PIRACÉS, Rocío LÓPEZ-FLORES y Ernesto PÉREZ-COLLAZOS 177
- La avalancha del 25 de abril de 2015 en Langtang (Nepal), por Fernando RIVERO y José Antonio CUCHÍ 197

| | |
|--|-----|
| Aceite de oliva virgen, el alimento con propiedades farmacológicas preventivas de la aterosclerosis, por Joaquín Carlos SURRA, María Ángeles NAVARRO, María Victoria MARTÍNEZ y Jesús OSADA | 225 |
| Bucardos y osos fósiles del Pirineo: recuperación de restos paleontológicos, catalogación y datación de los yacimientos del Pleistoceno-Holoceno de las cavidades del Pirineo oscense, por Víctor SAUQUÉ, Raquel RABAL-GARCÉS, Ricardo GARCÍA-GONZÁLEZ y Mario GISBERT | 247 |
| Estudio genético comparativo de las poblaciones de <i>Silene ciliata</i> Pourr. (Caryophyllaceae) como herramienta para estudiar el cambio global, por Alfredo GARCÍA-FERNÁNDEZ | 291 |

PREFACIO

¿POR QUÉ ES IMPORTANTE INVESTIGAR EN BOTÁNICA?

Si nos preguntamos por qué es importante investigar en botánica, múltiples respuestas nos vienen inmediatamente a la mente. Una de las más obvias es que si hiciésemos una lista de los organismos que el hombre utiliza, o de aquellos de los que obtiene beneficio indirecto, las plantas ocuparían el primer lugar en cuanto a número y diversidad, por delante de otros grupos de seres vivos. La lista de vegetales útiles para la humanidad, o relacionados con sus actividades, es inmensa (FONT I QUER, 1962; HEYWOOD, 1985). Las plantas son nuestra principal fuente de alimento, tanto por su aportación calórica global a nuestro metabolismo como por su extensa variedad de cultivos, actuales y pretéritos; ellas constituyen, igualmente, la fuente prioritaria de alimentación de nuestros ganados, en forma de pastos, forrajes y piensos. Los vegetales de uso industrial incluyen plantas textiles, con las que nos vestimos; materiales de construcción, con los que se levantan casas y cabañas y se elaboran muebles; plantas biocombustibles, cuyas maderas, carbón o compuestos derivados (etanol) impulsaron la cocina, los sistemas de calefacción y la tracción de nuestros vehículos. Las plantas medicinales y tóxicas han tenido y tienen una gran relevancia en la farmacognosia y la farmacopea humana y veterinaria; otras tienen aplicaciones culinarias, como condimento de nuestros alimentos, y cosméticas. Un creciente número de especies vegetales se emplean como plantas ornamentales, adornando y embelleciendo nuestros parques, jardines y balcones. Además de los múltiples usos nutricionales, medicinales y etnobotánicos de las plantas, hoy en día se considera también el valor ecosistémico de los paisajes vegetales, tanto para las comunidades tróficas que viven en ellos como para el hombre, por su aprovechamiento y disfrute. Todo este amplio abanico de utilidades de las plantas ha llevado consigo un enorme desarrollo científico

a lo largo de los siglos en diversas áreas botánicas, agronómicas, médicas y veterinarias. Incluso recientemente se ha planteado el caso de lo útil y valioso que podría resultar un botánico si quedase abandonado en otro planeta del sistema solar (WEIR, 2014).

Pero la botánica es más que eso, y el término en sí engloba todo estudio relacionado con las plantas, no solo aplicado sino también de ciencia básica. En general, asociamos el nombre de *botánica* a la taxonomía o a la sistemática vegetal, refiriéndonos en el primer caso al estudio, la clasificación y la nomenclatura de las plantas, y en el segundo al conjunto de evidencias científicas que apoyan tal clasificación (STACE, 1989). Los estudios sistemáticos de plantas han sido arduos, ya que no solamente han consistido en la identificación y la clasificación de las más de 250 000 especies de angiospermas (plantas con flores verdaderas), 850 de gimnospermas (coníferas y grupos próximos), 12 700 de pteridófitos (licopodios, equisetos, helechos y grupos próximos), 20 000 de briófitos (musgos, hepáticas y antocerotes) y 9000 – 15 000 de algas (clorófitas o algas verdes, prasinofitas y antiguas carófitas) conocidas que pueblan la Tierra (PEDROCHE, 2012; ROSSELLÓ, 2012), sino en el empleo de diversas fuentes de datos que han permitido profundizar en su conocimiento, desvelando en varias de ellas su composición genética, sus orígenes y relaciones evolutivas, sus características biológicas y sus adaptaciones ecológicas (VARGAS y ZARDOYA, 2012). Hoy en día, nuevas líneas de investigación tienen como objeto de estudio las plantas, y han dado origen a nuevas especialidades, tales como la filogenia, la biogeografía histórica, la paleobotánica, la citogenética, la genética poblacional, la filogeografía, la biología reproductiva, la autoecología, la relación planta-animal o planta-ecosistema y la conservación vegetal. Más recientemente, el gran avance que han supuesto las técnicas de secuenciación masiva de genomas, transcriptomas y proteomas, y la disección de metabolomas y fenomas, colectivamente conocidas como *técnicas ómicas*, ha dado paso a la obtención de ingentes bases de datos y a su procesamiento y estudio mediante el desarrollo de potentes métodos analíticos, empleando tuberías informáticas y nuevos sistemas de programación estadística (CATALÁN y FERNÁNDEZ-CANDELAS, 2012). Esto, a su vez, ha generado novedosos avances tanto en estudios biológicos como de mejora de plantas, dando paso a nuevas líneas de investigación en genómica comparada, filogenómica, epigenómica, genómica del paisaje y ecogenómica, entre otras.

Las nuevas exploraciones genómicas de la botánica han tenido lugar, principalmente, en plantas cultivadas, debido a su indudable interés económico, y en las denominadas *plantas modelo*, plantas silvestres con unos especiales atributos biológicos y genómicos que las convierten en dianas perfectas para estos estudios avanzados. Entre las características principales de las plantas modelo están el ser plantas anuales (de ciclo vital muy corto), auto-compatibles, fáciles de germinar, cultivar, multiplicar y transformar, poseedoras de genomas de muy pequeño tamaño y con muy escaso porcentaje de ADN repetitivo. Y también han sido seleccionadas por hallarse evolutivamente próximas a especies cultivadas, a las cuales pueden transferirse los resultados obtenidos en ellas (por ejemplo, respuestas a estreses bióticos y abióticos y sus mecanismos de regulación génica). En las angiospermas, las dos especies más ampliamente utilizadas como plantas modelo han sido *Arabidopsis thaliana* en las dicotiledóneas, por su transferencia a las brasicáceas y a otros cultivos, y *Brachypodium distachyon* en las monocotiledóneas, por su transferencia a los cereales templados y a gramíneas biocombustibles (LYONS y SCHOLTHOF, 2015). Últimamente, los análisis genómicos y transcriptómicos se están aplicando a la investigación de otras plantas silvestres no modelo, con fines no tanto de transferencia sino de investigación de procesos biológicos en diferentes escenarios evolutivos y ecológicos. Así, numerosos estudios genotípicos de polimorfismos del genoma se están empleando en análisis filogenómicos y filogeográficos de distintos linajes de angiospermas, y un género basal (*Trithuria*) se ha propuesto como grupo modelo para investigar los orígenes de las plantas con flores (MARQUÉS y cols., 2015). Plantas silvestres modelo y no modelo se investigan también con metodologías avanzadas para intentar responder a preguntas biológicas esenciales sobre el origen y el tiempo de la especiación, la hibridación, la poliploidía, o la aparición de diversos caracteres fenotípicos y fisiológicos.

Los fascinantes descubrimientos que están aportando las nuevas tecnologías y los nuevos datos han llegado a oscurecer, en cierto modo, otros estudios botánicos más tradicionales, comúnmente clasificados en la denominada *taxonomía alfa*. Esta consiste básicamente en el estudio, la identificación y la descripción de nuevas especies o rangos taxonómicos, utilizando principalmente caracteres morfológicos. La taxonomía alfa se aplica actualmente al estudio de aquellas floras de regiones florísticas menos exploradas, como las de muchas zonas tropicales, donde el descubrimiento

continuo de nuevas especies para la ciencia, fundamentado en sus diferencias morfológicas, sigue siendo un factor elemental para el conocimiento de la diversidad. Pero incluso floras más estudiadas, como las de la región mediterránea, siguen proporcionando nuevos hallazgos taxonómicos cuando se aplican criterios morfológicos más rigurosos o se complementan con nuevas metodologías. Un claro ejemplo de ello es *Flora iberica* (www.floraiberica.es), el mayor compendio florístico vascular regional de Europa (> 6276 especies) y el mejor legado taxonómico que dejarán nuestros botánicos españoles y portugueses para la posteridad. Gracias a su trabajo, la diversidad de nuestra flora vascular se ha incrementado en más de un 25% con respecto a los datos previos existentes, con lo que ha aumentado considerablemente el conocimiento del patrimonio biológico vegetal ibérico. Se ha propuesto que la vieja imagen obsoleta de la botánica que se enseña en algunas universidades, basada exclusivamente en la taxonomía morfológica, debiera ser enterrada para siempre en favor de una nueva botánica, más moderna, atractiva y multidisciplinar (MARQUÉS, 2015). Esta acertada recomendación no debe, sin embargo, disuadirnos de seguir investigando en taxonomía y sistemática de plantas, una taxonomía fundamentada en cuantas aproximaciones sistemáticas podamos aportar a la botánica, las más avanzadas sin duda, pero también las más clásicas. Sirva como ejemplo la reciente disgregación de lo que hasta hace poco se consideraba una única especie de planta modelo, *Brachypodium distachyon* (*sensu lato*), empleada en más de 400 laboratorios del mundo, en un complejo de tres especies distintas, dos especies progenitoras diploides, *Brachypodium distachyon* y *Brachypodium stacei*, y su derivado híbrido alotetraploide *Brachypodium hybridum*, gracias al empleo combinado de modernos estudios citogenéticos y filogenéticos, pero también de análisis morfológicos clásicos que permitieron su discriminación taxonómica y su reconocimiento como especies individuales (CATALÁN y cols., 2012).

Un bello resumen de por qué es importante investigar en botánica lo encontramos en las palabras del botánico Pedro Gregorio Echeandía, autor de la *Flora cesaraugustana*:

¿Qué cosa más delectable que el estudio de la botánica? [...]. Ella es una de las profesiones precisas y necesarias para la curación de nuestras enfermedades y dolencias; la más útil para adelantar la agricultura, la cría de ganados, los tintes, varias manufacturas y el comercio que tanto importa a la economía del estado. [...] ¿Qué adelantamientos no podemos esperar con el estudio de la botánica en España y en Aragón donde la tierra es tan fecunda y el cielo tan benigno? (ECHEANDÍA, 1797)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CATALÁN, P., y F. GONZÁLEZ-CANDELAS (2012). Técnicas y marcadores filogenéticos. En P. Vargas y R. Zardoya (eds.), *El árbol de la vida: sistemática y evolución de los seres vivos*: 533-552. Madrid.
- CATALÁN, P., J. MÜLLER, R. HASTEROK, G. JENKINS, L. A. J. MUR, T. LANGDON, A. BETEKHTIN, D. SIWINSKA, M. PIMENTEL y D. LÓPEZ-ÁLVAREZ (2012). Evolution and taxonomic split of the model grass *Brachypodium distachyon* (L.) P. Beauv. *Annals of Botany*, 109: 385-405.
- ECHEANDÍA, P. G. (1797). Discurso inaugural en la creación del Jardín Botánico y las cátedras de Química y Botánica en Zaragoza. Reproducido de J. Catalán Sesma (2015), *Plantas medicinales de Monlora y las Cinco Villas Orientales*: 19. IFC (Botánicos de Aragón). Zaragoza.
- FONT I QUER, P. (1962). *Plantas medicinales: el Dioscórides renovado*. Labor. Barcelona.
- HEYWOOD, V. H. (1985). *Las plantas con flores*. Reverté. Barcelona.
- LYONS C., y K. SCHOLTHOF (2015). Watching grass grow: The emergence of *Brachypodium distachyon* as a model for the poaceae. *New Perspectives on the History of Life Sciences and Agriculture (Archimedes)*, 40: 479-501.
- MARQUÉS, I. (2015). Bury botany's outdated image. *Nature*, 520: 295.
- MARQUÉS, I., S. MONTGOMERY, M. S. BARKER, T. MACFARLANE, J. CONRAN, P. CATALÁN, RIESEBERG, P. J. RUDALL y S. W. GRAHAM (2015). Transcriptome-derived evidence supports L. recent polyploidization and a major phylogeographic division in *Trithuria submersa* (Hydatellaceae, Nymphaeales). *New Phytologist* (doi 10.1111/nph.13755).
- PEDROCHE, F. F. (2012). Clorobiontes. En P. Vargas y R. Zardoya (eds.), *El árbol de la vida: sistemática y evolución de los seres vivos*: 67-73. Madrid.
- ROSSELLÓ, J. A. (2012). Embriófitos. En P. Vargas y R. Zardoya (eds.), *El árbol de la vida: sistemática y evolución de los seres vivos*: 74-84. Madrid.
- STACE, C. A. (1989). *Plant Taxonomy and Biosystematics*. 2.^a ed. E. Arnold. Londres.
- VARGAS, P., y R. ZARDOYA (eds.) (2012). *El árbol de la vida: sistemática y evolución de los seres vivos*. Madrid.
- WEIR, A. (2014). *The Martian*. Crown Publishing Group. Nueva York.

Pilar CATALÁN^{1,2,3}

¹ Catedrática de Botánica. Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. pccatalan@unizar.es

² Professor in Botany. Department of Botany. Institute of Biology. Tomsk State University. Lenin Avenue, 36. 634050 TOMSK (Rusia).

³ Directora del Área de Ciencias Naturales del IEA.

ARTÍCULOS

Lucas Mallada, **17**: 17 a 44
ISSN: 0214-8315, e-ISSN: 2445-060X
<http://revistas.iea.es/index.php/LUMALL>
Huesca, 2015

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE AGUAS EN LA HOYA DE HUESCA

Raquel ZUFIAURRE¹
Lourdes TRABA¹
José Antonio CUCHÍ¹

RESUMEN.— El presente artículo estudia la hidroquímica de 39 puntos de aguas superficiales y subterráneas situados en las cercanías de la ciudad de Huesca. La mayoría de las muestras tienen características similares, dada la presencia generalizada de caliza en toda la zona. En las muestras de áreas naturales hay un bajo nivel de nitratos de origen natural. El nivel de nitratos es elevado en la zona de agricultura de secano, pero menor en las zonas regadas por el río Isuela.

ABSTRACT.— The paper shows the hydrochemistry at 39 points of surficial and underground waters near the city of Huesca. Most water samples show similar characteristics given the general presence of limestone in the whole area. The samples from natural areas show a low level of nitrate ion from natural sources. The nitrate concentration is high in the dry farming area, but lower in the land irrigated with the water of the Isuela River.

KEY WORDS.— Hydrochemistry, nitrate pollution, Hoya de Huesca (Spain).

Recepción del original: 14-4-2015

¹ Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. zufi@unizar.es, lourdestraba@gmail.com, cuchi@unizar.es

INTRODUCCIÓN

El estudio de la calidad química de las aguas subterráneas es un tema de cierto interés en la hoya de Huesca. En esta, hasta 1970 los estudios fueron escasos y muy puntuales. Entre los años 1970 y 1980 se realizaron trabajos muy específicos, en su mayor parte dedicados a solucionar el abastecimiento de pequeñas localidades, por la Dirección General de Obras Públicas, el Instituto Geológico y Minero de España y la Diputación General de Aragón. En la década siguiente, SÁNCHEZ (1988) aportó una visión de conjunto de la hidrología de la sierra de Guara y los somontanos de Huesca. Más adelante, GARRIDO y AZCÓN (1994) detallaron una primera propuesta de unidades hidrogeológicas en los somontanos basadas en criterios geomorfológicos. Ese mismo año, Óscar Larrey y Julio Carlos Lasaosa realizaron su proyecto fin de carrera de ingeniero técnico químico en la Escuela Politécnica de Huesca sobre las “Características hidroquímicas de las aguas subterráneas en el somontano de Huesca”. Sus resultados se publicaron en LARREY y cols. (1996). Del mismo periodo son los trabajos de GIMENO (1995) y GIMENO y CUCHÍ (1997), donde se puso de manifiesto la contaminación por nitratos en el acuífero de Apiés. Posteriormente, el interés hidroquímico se desplazó hacia las cercanas Sierras Exteriores: BUERA y cols. (1997), CUCHÍ y cols. (1998), SUBÍAS y cols. (2002), CUCHÍ y cols. (2002) y VILLARROEL y cols. (2002). Recientemente, se han vuelto a estudiar las aguas de los somontanos por IGUAL (2014) y TRABA (2015). Este artículo tiene como objeto presentar los resultados de este último trabajo académico, cuyos objetivos eran caracterizar desde el punto de vista hidroquímico las aguas de los acuíferos de la hoya de Huesca y de Apiés, y evaluar la posible contaminación por nitratos derivada de las actividades agrícolas.

ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se enmarca fundamentalmente en la cuenca del río Isuela, pequeño afluente del río Flumen. También abarca una pequeña parte de la de este último, en torno a la localidad de Apiés. La descripción de las características generales de ambas se encuentra en MONAJ y cols. (2014).

En estas cuencas se han identificado diversos acuíferos. En el cañón de la cuenca alta del río Isuela afloran varias surgencias relacionadas con calizas,

destacando la de San Clemente, aguas abajo del embalse de Arguis y descrita en GIMENO y CUCHÍ (1996). En la zona llana se encuentra el acuífero de Huesca, que se engloba dentro de la Masa de agua subterránea 055 de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Es un acuífero modesto, de tipo libre, en gravas y limos de aluviones del Cuaternario y del Holoceno, que recubren en una potencia máxima de 10 metros sobre areniscas y lutitas del Mioceno de la cuenca del Ebro, que se consideran impermeables. El espesor saturado rara vez supera los 5 metros. El acuífero tiene unos 80 km² de superficie de recarga, en su mayor parte dedicada al cultivo de cereal de invierno en régimen de secano. En el entorno de la ciudad de Huesca hay unos 2 km² de regadío abastecidos con aguas del río Isuela a través de sistemas tradicionales de riego que se describen sucintamente en CUCHÍ (2006).

El acuífero de Apiés, cerca de esta localidad, es mucho más modesto, del orden de los 10 km². Tiene características similares al anterior, aunque no existe recarga por regadío.

Ambos acuíferos se consideran afectados por nitratos de origen agrario y han sido designados como vulnerables a la contaminación por nitratos de origen agrícola, por la Orden de 10 de septiembre de 2013 del Departamento de Agricultura y Medio Ambiente de la Diputación General de Aragón.

MATERIAL Y MÉTODOS

En marzo de 2014 se muestrearon 39 puntos de aguas subterráneas y superficiales. La tabla I presenta la nomenclatura, la ubicación y la fecha de muestreo. La temperatura, la conductividad eléctrica (CE) y el oxígeno disuelto (OD) se determinaron *in situ*. Las muestras se trasladaron con rapidez a los laboratorios del Departamento de Química Analítica de la Escuela Politécnica Superior de Huesca (EPSH) para su conservación y análisis.

Las muestras se analizaron siguiendo los procedimientos indicados en los métodos oficiales de análisis de aguas potables según Orden de 1 de julio de 1987 (PANREAC, 1999) y en los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (APHA, AWWA y WPCF, 2012). En la tabla II se muestran los parámetros fisicoquímicos determinados y los métodos analíticos utilizados.

Tabla 1. Nomenclatura y ubicación de los puntos de agua muestreados.

| <i>Muestra</i> | <i>Punto de muestreo</i> | <i>Coordenadas UTM</i> | | | <i>Fecha de muestreo</i> | <i>Localidad</i> |
|----------------|--|------------------------|---------|-----|--------------------------|------------------|
| | | X | Y | Z | | |
| 1 | Pozo de la EPSH | 711013 | 4666082 | 460 | 17/3/2014 | Huesca |
| 2 | Fuente en Cillas | 710565 | 4671015 | 510 | 17/3/2014 | Cillas |
| 3 | Río Isuela, en Banastás | 711083 | 4673264 | 530 | 17/3/2014 | Banastás |
| 4 | Dren de la alberca de Loreto | 710520 | 4666985 | 465 | 18/3/2014 | Huesca |
| 5 | Acequia de la alberca de Loreto | 710437 | 4666960 | 465 | 18/3/2014 | Huesca |
| 6 | Alberca de Loreto | 710521 | 4666931 | 465 | 18/3/2014 | Huesca |
| 7 | Ibones de Yéqueda | 711206 | 4673214 | 525 | 18/3/2014 | Yéqueda |
| 8 | Pantano de Arguis | 711893 | 4686754 | 960 | 19/3/2014 | Arguis |
| 9 | Manantial de San Clemente | 711893 | 4686493 | 890 | 19/3/2014 | Arguis |
| 10 | Fuente de San Miguel | 713980 | 4669101 | 460 | 24/3/2014 | Huesca |
| 11 | Río Isuela, en San Miguel | 713940 | 4669074 | 460 | 24/3/2014 | Huesca |
| 12 | Fuente vieja de Fornillos | 717047 | 4673973 | 640 | 24/3/2014 | Fornillos |
| 13 | Fuente de Apiés | 714327 | 4678122 | 681 | 24/3/2014 | Apiés |
| 14 | Fuente de Lienas | 714850 | 4678484 | 669 | 24/3/2014 | Lienas |
| 15 | Fuente del Huerto, en Sabayés | 712741 | 4680500 | 760 | 24/3/2014 | Sabayés |
| 16 | Río Isuela, en Nueno | 711412 | 4682584 | 700 | 24/3/2014 | Nueno |
| 17 | Fuente de la Ralleta | 712109 | 4683929 | 750 | 24/3/2014 | Nueno |
| 18 | Pozo de los Baños, en Nueno | 712291 | 4685412 | 820 | 25/3/2014 | Nueno |
| 19 | Fuente de la Cantera | 712173 | 4684586 | 840 | 25/3/2014 | Nueno |
| 20 | Fonturbia, en Nueno | 710829 | 4683013 | 770 | 25/3/2014 | Nueno |
| 21 | Fuente vieja de Nueno | 711130 | 4682620 | 730 | 25/3/2014 | Nueno |
| 22 | Pozo de abastecimiento en Arascués | 711089 | 4680627 | 650 | 25/3/2014 | Arascués |
| 23 | Pozo de la Huerta del Molino, en Nueno | 711221 | 4681589 | 680 | 25/3/2014 | Nueno |
| 24 | Pozo de la EDAR de Huesca | 715633 | 4666197 | 435 | 26/3/2014 | Huesca |
| 25 | Pozo de J. M. R. y C. | 712312 | 4671430 | 505 | 26/3/2014 | Huesca |
| 26 | Fuente de Marcelo | 712151 | 4671277 | 500 | 26/3/2014 | Huesca |
| 27 | Fuente de la Jara | 712872 | 4671182 | 490 | 26/3/2014 | Huesca |
| 28 | Barranco de Manjarrés, en Jara | 712873 | 4671182 | 490 | 26/3/2014 | Huesca |
| 29 | Las Paulesas | 711046 | 4679636 | 630 | 26/3/2014 | Igriés |
| 30 | Ibón de Cuarte | 709843 | 4666908 | 470 | 26/3/2014 | Cuarte |
| 31 | Manantial de Banariés | 709142 | 4667945 | 470 | 26/3/2014 | Banariés |
| 32 | Fuente de Huerrios | 710202 | 4669151 | 490 | 26/3/2014 | Huerrios |
| 33 | Pozo de Atades | 710878 | 4670891 | 505 | 28/3/2014 | Huesca |
| 34 | Fuente de Alerre | 709589 | 4670958 | 500 | 28/3/2014 | Alerre |
| 35 | Pozo de A. B. | 710549 | 4672984 | 530 | 28/3/2014 | Banastás |
| 36 | Pozo de A. S. | 712385 | 4670600 | 495 | 31/3/2014 | Huesca |
| 37 | Pozo de T. R. | 712161 | 4670866 | 500 | 31/3/2014 | Huesca |
| 38 | Pozo de P. S. | 712970 | 4669808 | 485 | 31/3/2014 | Huesca |
| 39 | Fuente vieja de Lierta | 706898 | 4680163 | 670 | 31/3/2014 | Lierta |

Tabla II. Métodos analíticos utilizados.

| <i>Parámetro</i> | <i>Método analítico</i> |
|-----------------------------------|--|
| pH | Método electroquímico. Electrodo de vidrio de pH |
| Conductividad eléctrica (CE) | Método electroquímico. Conductimetría |
| Oxígeno disuelto (OD) | Método electroquímico. Electrodo de membrana |
| Residuo seco | Gravimetría |
| Oxidabilidad | Volumetría de oxidación-reducción |
| Alcalinidad / hidrogenocarbonatos | Volumetría ácido-base |
| Dureza | Volumetría de formación de complejos |
| Cloruros | Volumetría de precipitación. Método de Mohr |
| Nitratos | Espectroscopia de absorción molecular UV (ultravioleta) |
| Fosfatos | Espectroscopia de absorción molecular VIS (visible). Molibdato amónico |
| Sulfatos | Turbidimetría-Espectroscopia de absorción molecular VIS (visible) |
| Calcio, sodio y potasio | Espectroscopia de emisión atómica de llama |
| Magnesio | Espectroscopia de absorción atómica de llama |

Los índices de saturación en minerales se calcularon mediante el programa WATEQ4 del US Geological Survey. Se representaron diagramas de Piper y Stiff mediante el programa Diagrammes. El análisis factorial se hizo mediante el programa SPSS 15.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de campo (CE, temperatura y OD) y de laboratorio (resto de análisis) se presentan en la tabla III. Las determinaciones de laboratorio se realizaron por triplicado y se presentan los valores medios y la desviación estándar. La dureza se ha calculado por suma de los valores medios (en meq/L) de Ca^{2+} y Mg^{2+} . La relación de adsorción de sodio (SAR) se obtiene a partir de los cationes anteriores y del sodio.

Tabla III. Resultados analíticos de aguas de la hoya de Huesca.

| <i>Muestra</i> | <i>pH</i> | <i>CE</i> <i>μS/cm 20 °C</i> | <i>Temp. (°C)</i> <i>OC</i> | <i>OD</i> <i>(mgO₂/L)</i> | <i>Porcentaje</i> <i>sat. O₂</i> | <i>Dureza</i> <i>(mg/L CaCO₃)</i> | <i>SAR</i> |
|----------------|-----------|---------------------------------|--------------------------------|---|--|---|------------|
| 1 | 7,0 | 953 | 14,5 | 3,09 | 30,4 | 438 | 0,47 |
| 2 | 7,0 | 940 | 14,0 | 4,13 | 40,1 | 436 | 0,51 |
| 3 | 8,1 | 580 | 14,2 | 3,64 | 35,5 | 269 | 0,51 |
| 4 | 7,9 | 4920 | 9,5 | 1,30 | 11,4 | 1967 | 1,77 |
| 5 | 8,1 | 905 | 11,3 | 3,65 | 34,3 | 444 | 0,52 |
| 6 | 7,6 | 686 | 11,6 | 3,80 | 35,0 | 312 | 0,55 |
| 7 | 7,5 | 785 | 13,0 | 4,63 | 44,1 | 373 | 0,54 |
| 8 | 8,0 | 456 | 10,8 | 7,47 | 67,0 | 222 | 0,46 |
| 9 | 7,4 | 435 | 8,9 | 4,25 | 36,7 | 230 | 0,02 |
| 10 | 7,0 | 796 | 11,5 | 3,30 | 27,3 | 359 | 0,55 |
| 11 | 8,0 | 731 | 8,6 | 2,83 | 25,0 | 328 | 0,57 |
| 12 | 6,9 | 1500 | 14,6 | 2,54 | 24,9 | 439 | 1,08 |
| 13 | 6,9 | 904 | 13,0 | 2,85 | 26,5 | 392 | 0,26 |
| 14 | 7,2 | 1035 | 12,4 | 4,15 | 38,5 | 472 | 0,49 |
| 15 | 6,9 | 851 | 13,5 | 3,30 | 31,8 | 399 | 0,25 |
| 16 | 8,0 | 553 | 11,7 | 3,36 | 30,8 | 260 | 0,49 |
| 17 | 7,4 | 689 | 12,8 | 2,50 | 24,5 | 288 | 0,81 |
| 18 | 7,4 | 823 | 18,7 | 1,61 | 17,3 | 374 | 1,20 |
| 19 | 7,4 | 604 | 12,2 | 3,03 | 28,7 | 292 | 0,27 |
| 20 | 7,4 | 828 | 11,1 | 3,55 | 32,5 | 368 | 1,13 |
| 21 | 7,1 | 828 | 13,1 | 3,11 | 29,0 | 478 | 0,12 |
| 22 | 7,2 | 853 | 11,6 | 1,76 | 15,7 | 399 | 0,50 |
| 23 | 7,3 | 767 | 11,0 | 4,54 | 42,0 | 358 | 0,48 |
| 24 | 6,9 | 1345 | 15,7 | 2,23 | 22,1 | 533 | 1,34 |
| 25 | 6,9 | 1110 | 14,4 | 3,83 | 35,8 | 483 | 0,64 |
| 26 | 6,8 | 1080 | 14,4 | 3,09 | 30,5 | 478 | 0,60 |
| 27 | 6,8 | 1355 | 13,2 | 3,49 | 33,1 | 544 | 1,17 |
| 28 | 7,5 | 1524 | 9,0 | 2,85 | 25,0 | 521 | 2,12 |
| 29 | 7,1 | 804 | 12,8 | 2,22 | 21,0 | 348 | 0,53 |
| 30 | 6,9 | 978 | 13,9 | 3,07 | 30,0 | 418 | 0,60 |
| 31 | 7,1 | 947 | 13,2 | 2,02 | 19,6 | 429 | 0,52 |
| 32 | 6,9 | 877 | 12,8 | 2,69 | 25,0 | 390 | 0,51 |
| 33 | 7,2 | 800 | 12,0 | 1,85 | 17,8 | 372 | 0,48 |
| 34 | 7,7 | 1241 | 12,2 | 3,07 | 29,0 | 531 | 0,70 |
| 35 | 7,1 | 764 | 15,0 | 2,85 | 28,0 | 271 | 0,60 |
| 36 | 7,0 | 936 | 14,3 | 2,37 | 23,7 | 432 | 0,52 |
| 37 | 7,0 | 961 | 14,0 | 2,88 | 27,7 | 425 | 0,59 |
| 38 | 7,0 | 914 | 14,7 | 3,17 | 31,9 | 415 | 0,54 |
| 39 | 7,1 | 840 | 12,8 | 1,85 | 17,8 | 382 | 0,20 |

Tabla III. (continuación)

| Muestra | Oxidabilidad (mgO ₂ /L) | Residuo seco (mg/L) | HCO ₃ ⁻ (mg/L) | NO ₃ ⁻ (mg/L) | SO ₄ ²⁻ (mg/L) |
|---------|---------------------------------------|------------------------|---|--|---|
| 1 | 0,54 ± 0,08 | 713,0 ± 25,4 | 394,5 ± 7,0 | 56,8 ± 0,5 | 92,2 ± 4,5 |
| 2 | 0,12 ± 0,04 | 774,5 ± 16,2 | 313,1 ± 7,0 | 95,8 ± 1,3 | 126,6 ± 1,5 |
| 3 | 0,73 ± 0,08 | 372,0 ± 11,3 | 211,5 ± 7,0 | 1,7 ± 0,1 | 94,6 ± 3,9 |
| 4 | 22,71 ± 0,88 | 422,0 ± 5,6 | 300,0 ± 0,0 | 0,09* | 1546,8 ± 190,2 |
| 5 | 0,80 ± 0,02 | 637,5 ± 7,7 | 305,0 ± 0,0 | 60,3 ± 0,3 | 142,7 ± 1,5 |
| 6 | 23,19 ± 0,37 | 491,0 ± 1,4 | 239,9 ± 7,0 | 16,5 ± 0,4 | 102,6 ± 0,9 |
| 7 | 0,32 ± 0,06 | 561,2 ± 1,4 | 264,3 ± 7,0 | 13,4 ± 0,2 | 166,6 ± 3,2 |
| 8 | 1,31 ± 0,04 | 248,1 ± 4,9 | 200,0 ± 0,0 | 0,7 ± 0,2 | 36,3 ± 0,3 |
| 9 | 0,35 ± 0,02 | 229,5 ± 6,3 | 313,1 ± 7,0 | 2,4 ± 0,1 | 7,1 ± 0,2 |
| 10 | 0,46 ± 0,03 | 525,0 ± 8,4 | 300,9 ± 7,0 | 7,6 ± 0,2 | 168,8 ± 4,6 |
| 11 | 0,76 ± 0,11 | 483,5 ± 7,7 | 284,7 ± 7,0 | 15,8 ± 0,2 | 123,7 ± 4,1 |
| 12 | 0,54 ± 0,06 | 1131,0 ± 5,6 | 313,1 ± 7,0 | 240,9 ± 3,4 | 149,4 ± 9,2 |
| 13 | 0,80 ± 0,11 | 612,1 ± 45,2 | 357,9 ± 7,0 | 115,9 ± 3,2 | 94,2 ± 0,9 |
| 14 | 0,12 ± 0,04 | 763,5 ± 2,1 | 394,5 ± 7,0 | 104,6 ± 3,1 | 159,7 ± 3,7 |
| 15 | 0,14 ± 0,06 | 554,1 ± 2,8 | 361,9 ± 7,0 | 78,2 ± 1,0 | 90,9 ± 3,7 |
| 16 | 0,62 ± 0,06 | 340,2 ± 19,8 | 239,9 ± 7,0 | 1,8 ± 0,2 | 73,4 ± 2,3 |
| 17 | 0,26 ± 0,00 | 434,5 ± 3,5 | 292,8 ± 12,2 | 4,3 ± 0,1 | 97,7 ± 3,2 |
| 18 | 0,19 ± 0,06 | 502,5 ± 16,2 | 272,5 ± 7,0 | 1,2 ± 0,0 | 83,3 ± 5,2 |
| 19 | 0,09 ± 0,02 | 336,5 ± 3,5 | 341,6 ± 0,0 | 0,4 ± 0,2 | 31,6 ± 0,8 |
| 20 | 0,13 ± 0,06 | 495,5 ± 4,9 | 280,6 ± 12,2 | 1,2 ± 0,0 | 100,0 ± 2,5 |
| 21 | 0,46 ± 0,04 | 642,2 ± 3,5 | 288,7 ± 7,0 | 1,9 ± 0,1 | 213,7 ± 3,5 |
| 22 | 0,28 ± 0,02 | 488,0 ± 2,8 | 292,8 ± 0,0 | 4,2 ± 0,0 | 193,1 ± 2,8 |
| 23 | 0,35 ± 0,02 | 519,0 ± 5,6 | 260,3 ± 7,0 | 3,1 ± 0,1 | 180,6 ± 3,8 |
| 24 | 0,93 ± 0,05 | 945,1 ± 3,5 | 435,1 ± 7,0 | 23,0 ± 0,1 | 301,6 ± 5,1 |
| 25 | 0,34 ± 0,04 | 725,2 ± 13,2 | 346,7 ± 14,1 | 32,5 ± 0,3 | 260,6 ± 6,8 |
| 26 | 0,15 ± 0,02 | 765,6 ± 9,2 | 349,7 ± 7,0 | 26,9 ± 0,8 | 228,7 ± 0,8 |
| 27 | 0,23 ± 0,05 | 932,0 ± 0,0 | 410,7 ± 7,0 | 50,1 ± 0,3 | 254,6 ± 14,6 |
| 28 | 1,79 ± 0,06 | 1050,5 ± 11,3 | 406,7 ± 7,0 | 34,3 ± 0,4 | 309,0 ± 3,8 |
| 29 | 0,27 ± 0,02 | 522,5 ± 2,1 | 313,1 ± 7,0 | 3,2 ± 0,0 | 148,8 ± 2,7 |
| 30 | 0,62 ± 0,04 | 691,0 ± 18,3 | 305,0 ± 0,0 | 86,6 ± 1,7 | 154,9 ± 7,1 |
| 31 | 0,13 ± 0,02 | 644,5 ± 59,4 | 292,8 ± 12,2 | 90,2 ± 0,9 | 150,4 ± 1,3 |
| 32 | 0,03 ± 0,02 | 611,5 ± 8,5 | 313,1 ± 14,1 | 49,6 ± 1,5 | 130,5 ± 2,6 |
| 33 | 0,85 ± 0,09 | 545,8 ± 0,7 | 317,2 ± 0,0 | 16,6 ± 0,3 | 123,4 ± 8,8 |
| 34 | 0,69 ± 0,02 | 949,5 ± 17,7 | 349,7 ± 7,0 | 159,8 ± 4,6 | 173,8 ± 1,5 |
| 35 | 0,28 ± 0,04 | 567,5 ± 4,9 | 215,5 ± 7,0 | 65,4 ± 1,1 | 108,4 ± 5,8 |
| 36 | 0,36 ± 0,05 | 624,0 ± 7,7 | 427,0 ± 12,2 | 7,5 ± 0,1 | 135,1 ± 5,3 |
| 37 | 0,35 ± 0,02 | 658,1 ± 4,2 | 359,9 ± 7,0 | 13,7 ± 0,2 | 175,4 ± 4,3 |
| 38 | 0,24 ± 0,02 | 602,1 ± 11,3 | 370,1 ± 7,0 | 16,5 ± 0,2 | 138,2 ± 2,9 |
| 39 | 0,35 ± 0,06 | 603,5 ± 9,2 | 313,1 ± 7,0 | 137,8 ± 2,2 | 54,5 ± 0,8 |

* El método analítico no es aplicable debido al elevado contenido de materia orgánica de la muestra.

Tabla III. (continuación)

| <i>Muestra</i> | <i>Cl⁻</i> (mg/L) | <i>Fosfatos</i> (mg/L, P) | <i>Ca²⁺</i> (mg/L) | <i>Mg²⁺</i> (mg/L) | <i>Na⁺</i> (mg/L) | <i>K⁺</i> (mg/L) |
|----------------|---------------------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 35,0 ± 0,4 | 0,03 | 131,9 ± 0,9 | 26,5 ± 0,3 | 22,5 ± 0,1 | 2,16 ± 0,03 |
| 2 | 38,9 ± 0,2 | 0,04 | 119,0 ± 0,9 | 33,8 ± 0,0 | 24,6 ± 0,1 | 5,06 ± 0,03 |
| 3 | 24,8 ± 0,0 | 0,03 | 77,4 ± 2,3 | 18,5 ± 0,2 | 19,4 ± 0,0 | 2,16 ± 0,01 |
| 4 | 615,3 ± 4,1 | 0,25 | 341,4 ± 4,7 | 270,8 ± 0,5 | 180,1 ± 0,7 | 18,09 ± 0,53 |
| 5 | 44,2 ± 0,2 | 0,03 | 125,1 ± 2,8 | 32,1 ± 0,1 | 25,1 ± 0,1 | 4,22 ± 0,01 |
| 6 | 36,6 ± 0,2 | 0,04 | 82,2 ± 1,4 | 26,1 ± 0,3 | 22,5 ± 0,1 | 5,07 ± 0,03 |
| 7 | 36,0 ± 0,2 | 0,03 | 106,5 ± 3,3 | 26,2 ± 0,1 | 23,8 ± 0,1 | 2,71 ± 0,02 |
| 8 | 17,8 ± 0,2 | 0,03 | 69,3 ± 1,4 | 12,0 ± 0,1 | 15,7 ± 0,2 | 2,14 ± 0,02 |
| 9 | 4,6 ± 0,3 | 0,17 | 76,1 ± 3,3 | 9,8 ± 0,1 | 0,6 ± 0,0 | 0,21 ± 0,01 |
| 10 | 32,3 ± 0,3 | 0,05 | 105,5 ± 2,8 | 23,3 ± 0,0 | 24,1 ± 0,1 | 5,92 ± 0,06 |
| 11 | 40,7 ± 0,2 | 0,04 | 93,6 ± 2,4 | 22,9 ± 0,1 | 23,6 ± 0,3 | 2,63 ± 0,05 |
| 12 | 101,6 ± 0,5 | 0,04 | 141,3 ± 3,8 | 21,1 ± 0,1 | 52,2 ± 0,1 | 116,30 ± 3,25 |
| 13 | 30,1 ± 0,2 | 0,04 | 105,1 ± 1,4 | 31,5 ± 0,1 | 12,1 ± 0,0 | 1,52 ± 0,04 |
| 14 | 40,2 ± 0,2 | 0,05 | 82,8 ± 2,4 | 64,5 ± 0,1 | 24,6 ± 0,1 | 0,39 ± 0,03 |
| 15 | 24,3 ± 0,2 | 0,04 | 100,7 ± 0,0 | 35,9 ± 0,1 | 11,3 ± 0,0 | 3,43 ± 0,01 |
| 16 | 25,7 ± 0,2 | 0,03 | 76,8 ± 2,4 | 16,8 ± 0,3 | 18,1 ± 0,1 | 1,99 ± 0,01 |
| 17 | 49,1 ± 0,2 | 0,03 | 82,8 ± 3,3 | 19,7 ± 0,1 | 31,7 ± 0,1 | 2,79 ± 0,01 |
| 18 | 78,5 ± 0,4 | 0,03 | 117,0 ± 2,8 | 19,9 ± 0,1 | 53,2 ± 0,1 | 4,16 ± 0,02 |
| 19 | 19,4 ± 0,2 | 0,03 | 82,8 ± 1,4 | 20,8 ± 0,3 | 10,5 ± 0,2 | 1,46 ± 0,02 |
| 20 | 79,7 ± 0,2 | 0,04 | 114,3 ± 3,3 | 20,3 ± 0,1 | 49,9 ± 0,1 | 3,99 ± 0,04 |
| 21 | 10,5 ± 0,2 | 0,05 | 144,7 ± 2,8 | 28,5 ± 0,1 | 6,2 ± 0,0 | 2,59 ± 0,04 |
| 22 | 33,2 ± 0,2 | 0,03 | 122,7 ± 2,3 | 22,7 ± 0,4 | 22,8 ± 0,0 | 3,43 ± 0,03 |
| 23 | 29,4 ± 0,3 | 0,04 | 110,5 ± 2,3 | 19,9 ± 0,1 | 20,9 ± 0,1 | 3,41 ± 0,02 |
| 24 | 75,9 ± 0,3 | 0,12 | 142,0 ± 0,9 | 43,4 ± 0,1 | 71,1 ± 0,0 | 34,71 ± 2,31 |
| 25 | 55,0 ± 0,3 | 0,03 | 136,9 ± 2,3 | 34,3 ± 0,1 | 32,3 ± 0,1 | 4,09 ± 0,03 |
| 26 | 50,7 ± 0,3 | 0,03 | 135,2 ± 1,9 | 34,1 ± 0,1 | 30,1 ± 0,0 | 3,48 ± 0,03 |
| 27 | 98,2 ± 1,0 | 0,04 | 142,0 ± 0,9 | 46,1 ± 0,1 | 62,9 ± 0,1 | 6,02 ± 0,04 |
| 28 | 121,1 ± 0,6 | 0,11 | 131,1 ± 0,9 | 47,0 ± 0,0 | 111,4 ± 0,3 | 8,99 ± 0,03 |
| 29 | 41,2 ± 0,0 | 0,03 | 105,5 ± 2,8 | 20,6 ± 0,4 | 22,5 ± 0,1 | 2,86 ± 0,02 |
| 30 | 52,5 ± 0,0 | 0,03 | 110,5 ± 0,4 | 34,6 ± 0,3 | 28,0 ± 0,1 | 6,39 ± 0,02 |
| 31 | 46,4 ± 0,8 | 0,04 | 114,9 ± 2,8 | 34,5 ± 0,1 | 24,6 ± 0,0 | 5,49 ± 0,04 |
| 32 | 49,2 ± 0,8 | 0,03 | 110,5 ± 0,5 | 27,8 ± 0,0 | 23,0 ± 0,1 | 3,54 ± 0,03 |
| 33 | 42,6 ± 0,0 | 0,07 | 110,2 ± 0,9 | 23,6 ± 0,3 | 21,5 ± 0,1 | 2,33 ± 0,01 |
| 34 | 66,7 ± 0,0 | 0,06 | 142,3 ± 0,5 | 42,7 ± 0,0 | 36,9 ± 0,2 | 9,83 ± 0,05 |
| 35 | 43,5 ± 0,8 | 0,03 | 74,1 ± 2,4 | 20,9 ± 0,1 | 22,5 ± 0,0 | 37,24 ± 3,52 |
| 36 | 41,2 ± 1,4 | 0,03 | 128,1 ± 1,4 | 27,4 ± 0,3 | 24,9 ± 0,0 | 2,12 ± 0,02 |
| 37 | 48,3 ± 0,0 | 0,03 | 119,0 ± 0,9 | 31,1 ± 0,0 | 28,1 ± 0,0 | 2,93 ± 0,02 |
| 38 | 45,4 ± 0,0 | 0,03 | 123,0 ± 0,9 | 26,4 ± 0,1 | 25,4 ± 0,1 | 4,56 ± 0,04 |
| 39 | 26,9 ± 0,0 | 0,02 | 109,5 ± 0,0 | 26,5 ± 0,3 | 8,8 ± 0,0 | 4,84 ± 0,03 |

Del conjunto de muestras destacan los resultados de un dren temporal (muestra 4), que aportaba agua a la alberca de Loreto, y de la fuente vieja de Fornillos (muestra 12). Ambas muestras se consideran singulares y debieran ser objeto de estudios específicos.

La temperatura de las muestras de agua varía de 8,6 °C a 18,7 °C. Los valores más bajos corresponden a las aguas superficiales, influenciadas por la temperatura ambiente del mes de marzo. La mayoría de las muestras de agua subterránea presentan un valor más alto y próximo a la temperatura media local, entre 11 y 13 °C. La muestra 18, un pozo que capta aguas del acuífero de los baños de Nueno para el abastecimiento de esta localidad y del campo de golf, muestra un débil termalismo ya conocido de antiguo (CUCHÍ, 2006).

La CE oscila entre 435 y 4920 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 20 °C. El valor más bajo corresponde al manantial de San Clemente en Arguis. Es un típico valor de agua de un manantial kárstico. El valor más alto corresponde al dren de la alberca de Loreto, procedente de un campo de cultivo vecino. Posiblemente este parámetro está influenciado por la fertilización, ya que el muestro se realizó en marzo, poco tiempo después del abonado de primavera que habitualmente se hace con urea. Se considera una muestra atípica. El valor medio de la CE, sin considerar el dren, es de 895 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 20 °C. En aguas superficiales, el río Isuela en Nueno presenta una CE de 553 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 20 °C. Los restantes valores del agua de este río muestran un aumento de la CE conforme se adentra en la hoya debido al aporte de aguas subterráneas. El residuo seco (RS), evidentemente relacionado con la CE, oscila entre 229 y 1050 mg/L. El más bajo corresponde al manantial de San Clemente, en Arguis. El más alto, al punto 28, barranco de Manjarrés.

El pH de las muestras varía de 6,85 a 8,08. Corresponde a típicos valores de aguas relacionadas con carbonato cálcico. El valor más bajo pertenece a la fuente vieja de Fornillos, un manantial con diversas singularidades. El más alto, a las aguas de la alberca de Loreto, quizás como consecuencia de la actividad biológica. En el mismo sentido, las aguas del río Isuela presentan los valores más altos de pH.

Los valores de oxígeno disuelto varían entre 1,30 (muestra 18) y 7,47 (muestra 8) mgO_2/L . El máximo corresponde al agua superficial del pantano de Arguis, y el menor, al pozo de los baños de Nueno, que capta un acuífero

para el que se presume un flujo profundo. Sorprenden los valores tan bajos de este parámetro para aguas naturales subterráneas, sospechándose un problema en la medición en campo de este último parámetro. La oxidabilidad varía entre 0,03 (muestra 32, fuente de Huerrios) y 23,19 mgO₂/L (muestra 6, alberca de Loreto). Las muestras de agua superficial tienen en general valores más altos que las subterráneas, que se puede relacionar con la mayor actividad biológica de las aguas superficiales frente a las subterráneas, donde no hay luz. Sin embargo, algunas aguas subterráneas como en las muestras 24 (pozo de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Huesca) y 33 (pozo de Atades) presentan valores algo más altos que podrían explicarse por problemas de contaminación.

Los hidrogenocarbonatos oscilan entre 200 (muestra 8, pantano de Arguis) y 435 mg/L (muestra 24, depuradora de Huesca). El valor más bajo puede ser resultado de la geología de la cuenca del embalse. El valor alto pudiera estar relacionado con un problema de contaminación local del acuífero por aguas ricas en materia orgánica que incrementasen el primer parámetro por acción biológica.

Los nitratos tienen un rango de entre 0,07 (muestra 8, pantano de Arguis) y 240,9 mg/L (muestra 12, fuente vieja de Fornillos). En las aguas superficiales del Isuela, los valores son bajos en Nueno y Banastás, para aumentar en la zona urbana de Huesca. Sorprende que el valor más alto no corresponda al dren de Loreto. Si se tiene en cuenta el valor de su oxidabilidad (22,71 mgO₂/L), pudiera deberse a que la fertilización fuera por urea, dado el intenso olor a amoníaco que se detectó durante su muestreo.

Los sulfatos oscilan entre 7,1 (muestra 9, manantial de San Clemente) y 309 mg/L (muestra 28, barranco de Manjarrés). El valor más bajo se relaciona con la ausencia de yesos en las calizas por donde fluye el agua de esta fuente. El valor elevado se ha encontrado en un barranco natural que presenta localmente eflorescencias de evaporitas. Los cloruros tienen un rango de entre 4,6 (muestra 9, manantial de San Clemente) y 121,1 mg/L (muestra 28, barranco de Manjarrés). Este parámetro tiene un comportamiento similar a los sulfatos, así que se sospecha un origen natural.

Los valores de fosfatos, expresados como P, son muy bajos, entre 0,02 (muestra 39, fuente vieja de Lierta) y 0,17 (muestra 9, manantial de San Clemente). Esto es normal dentro de un ambiente general donde domina

el carbonato cálcico calcáreo. Sorprende un poco el valor relativamente elevado de la muestra 9, un manantial que drena una zona natural sin cultivos ni ganadería.

El rango de calcio oscila entre 69 (muestra 8, pantano de Arguis) y 145 mg/L (muestra 21, fuente vieja de Nueno). El agua del pantano de Arguis presenta mínimos tanto de calcio como de bicarbonatos, aspecto que se puede achacar a razones litológicas. El valor máximo responde a una fuente con un claro depósito de toba por reprecitación de carbonato cálcico. El rango de ion magnesio oscila entre 9,8 (muestra 9, manantial de San Clemente) y 64,5 mg/L (muestra 14, fuente de Lienas). El valor más bajo corresponde a un manantial kárstico que ya daba los menores valores de CE. El más alto se encuentra en un punto del acuífero de Apiés (muestra 39, fuente vieja de Lierta), doblando prácticamente los valores de las restantes muestras pertenecientes al mismo acuífero (muestras 12, 13 y 15). La dureza, relacionada con los dos parámetros anteriores, tiene un rango de entre 222,7 (muestra 8, pantano de Arguis) y 544,5 mg/L CaCO_3 (muestra 27, fuente de Jara). Como era de esperar por CE y pH, las aguas superficiales tienen valores bajos. Todas las aguas se clasifican como muy duras, dado que todas superan el valor de 180 mg/L como CaCO_3 .

El sodio oscila entre 0,6 (muestra 9, manantial de San Clemente) y 111,4 mg/L (muestra 28, barranco de Manjarrés, en Jara). El valor más bajo corresponde a un agua kárstica con disolución predominante de carbonato cálcico. El valor más alto se ha encontrado en una cuenca de materiales del Mioceno donde hay presencia de evaporitas, incluidos cloruros. El potasio tiene un rango de entre 0,2 (muestra 9, manantial de San Clemente) y 116,3 mg/L (muestra 12, fuente vieja de Fornillos). El valor más bajo aparece en el mismo punto que los mínimos de sodio y cloruros. El más alto aparece en la fuente que ha dado los valores más altos en cloruros y nitratos y que debiera estudiarse con mayor detalle. Parece un problema de contaminación, pero pudiera ser también de tipo natural, por su ubicación hidrogeológica. Sorprende que el dren de Loreto, como en el caso de los nitratos, no sea el que presente mayor concentración por ser un parámetro típico de abonado. Los datos de SAR, parámetro utilizado para evaluar la calidad de las aguas para regadío, no muestran ningún riesgo de sodificación al usarlas en riego.

Análisis factorial

Para reducir la información contenida en los resultados analíticos de las muestras de agua, se ha llevado a cabo un análisis factorial (componentes principales) con el programa SPSS, que permite establecer asociaciones entre los parámetros fisicoquímicos estudiados, y observar diferencias o similitudes entre las muestras analizadas. Como primer resultado se ha obtenido la matriz de correlaciones que se muestra en la tabla IV y que mide el grado de dependencia lineal que existe entre variables.

El valor de correlación más alto (0,930) se observa entre los iones de cloruro y de sodio y sugiere la presencia de halita en la zona. Evidencias de este mineral se han observado en sondeos geológicos en la zona del barranco A Batalla, en la zona de Nueno. Las correlaciones entre la CE y los iones naturales del agua son también muy elevadas, especialmente con cloruros y calcio, pero son más bajas con nitratos y potasio. Esto se puede achacar a la concentración relativamente elevada de estas especies (principalmente nitratos) en muchas muestras debido a un origen antropogénico. El comportamiento del potasio es un poco anómalo y se achaca a posibles problemas de contaminación urbana, dados los altos valores en algunas de las muestras. Como era de esperar, es alta la correlación CE – residuo seco (0,851), dado que la mayor parte del material disuelto se encuentra en forma iónica.

La oxidabilidad y el fósforo no están bien correlacionados, como también era de esperar, con los parámetros iónicos. Por el contrario, las correlaciones entre los iones naturales son relativamente buenas y se diferencian de las que se establecen entre estos y los nitratos y el potasio de aporte antrópico.

Las únicas dos correlaciones esperadas, pero no encontradas, son la oxidabilidad con el oxígeno disuelto, por un lado, y el sodio con el potasio, por otro. La primera se puede atribuir a un fallo en la medición del oxígeno comentada con anterioridad, ya que la correlación entre la oxidabilidad y la medida de absorbancia a 275 nm (en el método para determinar nitratos), que también refleja el contenido de materia orgánica en las muestras, tiene un nivel de correlación relativamente elevado ($r = 0,768$). Por ello, se supone que el error pudiera encontrarse en las mediciones en campo con el oxímetro portátil. La baja correlación entre sodio y potasio, habitualmente del orden de 10/1, podría deberse a problemas de contaminación que necesitarían mayor estudio.

Tabla IV. Matriz de correlaciones para aguas de la hoya de Huesca.

| | CE | OD | Ox | RS | HCO ₃ ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ⁼ | Cl ⁻ | P | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ |
|-------------------------------|------------|----------|-------|------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------|-------|------------------|------------------|-----------------|----------------|
| pH | -,468 (**) | ,380 (*) | ,188 | -,469 (**) | -,549 (**) | -,267 | -,355 (*) | -,194 | ,014 | -,494 (**) | -,311 | -,082 | -,232 |
| CE | 1 | -,317 | -,118 | ,851 (**) | ,666 (**) | ,541 (**) | ,766 (**) | ,817 (**) | ,112 | ,786 (**) | ,703 (**) | ,748 (**) | ,487 (**) |
| OD | | 1 | ,119 | -,228 | -,322 (*) | -,157 | -,177 | -,293 | ,037 | -,360 (*) | -,101 | -,197 | -,165 |
| Ox | | | 1 | -,087 | -,216 | -,082 | -,072 | -,037 | ,008 | -,208 | -,028 | -,009 | -,019 |
| RS | | | | 1 | ,542 (**) | ,481 (**) | ,688 (**) | ,619 (**) | ,034 | ,713 (**) | ,622 (**) | ,541 (**) | ,396 (*) |
| HCO ₃ ⁻ | | | | | 1 | ,207 | ,475 (**) | ,385 (*) | ,257 | ,591 (**) | ,665 (**) | ,395 (*) | ,010 |
| NO ₃ ⁻ | | | | | | 1 | ,023 | ,303 | -,087 | ,286 | ,384 (*) | ,087 | ,606 (**) |
| SO ₄ ⁼ | | | | | | | 1 | ,579 (**) | ,147 | ,703 (**) | ,626 (**) | ,649 (**) | ,144 |
| Cl ⁻ | | | | | | | | 1 | ,082 | ,545 (**) | ,425 (**) | ,930 (**) | ,461 (**) |
| P | | | | | | | | | 1 | ,015 | ,069 | ,255 | ,069 |
| Ca ²⁺ | | | | | | | | | | 1 | ,431 (**) | ,472 (**) | ,247 |
| Mg ²⁺ | | | | | | | | | | | 1 | ,434 (**) | -,038 |
| Na ⁺ | | | | | | | | | | | | 1 | ,316 |
| K ⁺ | | | | | | | | | | | | | 1 |

CE: conductividad eléctrica; OD: oxígeno disuelto; RS: residuo seco.

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral), para un coeficiente de Pearson con un tamaño muestral > 35 de 0,320.

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral), para un coeficiente de Pearson con un tamaño muestral > 35 de 0,410.

A partir de la matriz de correlación, se ha realizado un análisis de componentes principales, en el que se ha eliminado el oxígeno disuelto por falta de confianza en sus resultados y la muestra número 4, dren de Loreto, cuyas características peculiares distorsionan el análisis. Se han seleccionado las tres primeras componentes, que son las que aportan la mayor parte de la información (77%): 46%, la primera; 12%, la segunda, y 11%, la tercera. Los resultados se presentan en la tabla v.

Tabla v. Matriz de componentes principales para las aguas de la hoya de Huesca.

| | <i>Componente</i> | | |
|---------------------|-------------------|----------|----------|
| | <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> |
| <i>pH</i> | -,530 | -,034 | ,580 |
| <i>CE</i> | ,989 | ,086 | ,046 |
| <i>Oxidabilidad</i> | -,156 | ,041 | ,457 |
| <i>RS</i> | ,876 | ,100 | -,079 |
| <i>Bicarbonatos</i> | ,710 | -,361 | -,338 |
| <i>Nitratos</i> | ,470 | ,710 | -,224 |
| <i>Sulfatos</i> | ,795 | -,345 | ,113 |
| <i>Cloruros</i> | ,800 | ,103 | ,451 |
| <i>Fósforo</i> | ,148 | -,324 | ,316 |
| <i>Calcio</i> | ,807 | -,076 | -,184 |
| <i>Magnesio</i> | ,716 | -,264 | -,163 |
| <i>Sodio</i> | ,745 | -,137 | ,573 |
| <i>Potasio</i> | ,432 | ,767 | ,207 |

La proyección de los parámetros físicoquímicos en las dos nuevas componentes se presenta en la figura 1. La figura 2 representa las muestras en las mismas componentes. La componente 1 reflejaría de manera general la mineralización natural de las aguas, relacionada con la litología. La 2 da información acerca de una posible contaminación agropecuaria o urbana, por los contenidos de nitrato y potasio.

En la figura 2, las muestras de la componente 1 se distribuyen de acuerdo con el contenido salino. Se observa que la mayoría de las muestras aparecen agrupadas por lo que no presentan variabilidad en cuanto a la composición química como cabe esperar en un entorno geológico donde predomina la

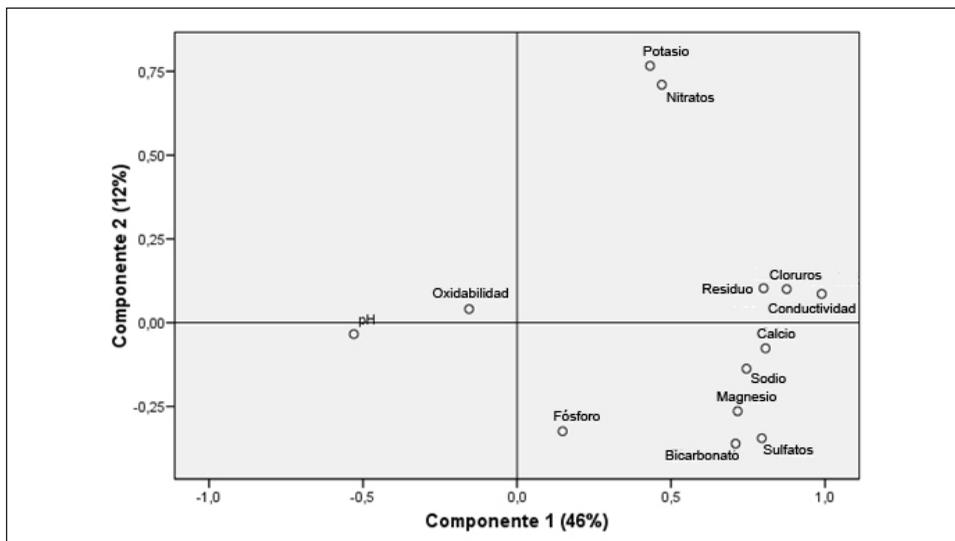


Fig. 1. Representación de parámetros fisicoquímicos sobre dos componentes principales para aguas de los acuíferos de Huesca y Apiés.

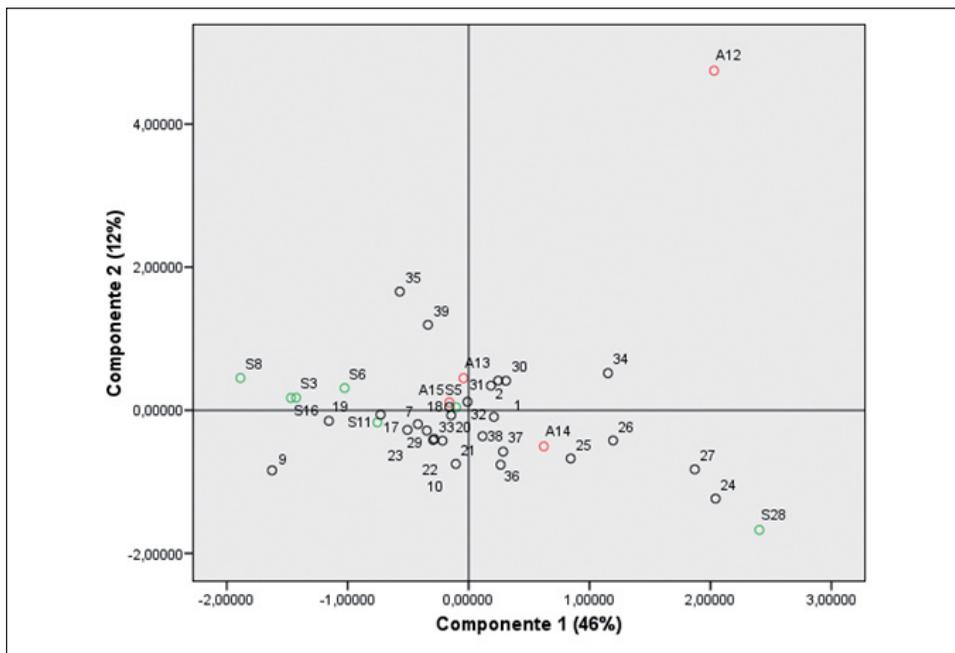


Fig. 2. Representación de muestras sobre dos componentes principales para aguas de la hoya de Huesca (en verde se representan las aguas superficiales; en rojo, las del acuífero de Apiés).

misma litología. Las aguas superficiales tienen menores contenidos en carga iónica que las subterráneas. La excepción es la muestra 28, del barranco de Manjarrés, que drena parcialmente materiales del Mioceno donde aparecen localmente eflorescencias evaporíticas, pero sin llegar a los niveles que hay en Monegros. En general, se aprecia un incremento de la mineralización hacia la zona meridional del acuífero, representada por las muestras 24, 25, 27 y 34.

Según la componente 2, las muestras de la zona superior destacan por tener mayores contenidos en potasio y especialmente nitratos. Entre estas sobresalen las muestras 12 (fuente vieja de Fornillos) y 35 (pozo de A. B.). Sería interesante realizar un estudio de detalle, asunto que sobrepasa los objetivos de este artículo.

Saturación en minerales

A los resultados analíticos se ha aplicado el programa de modelación hidroquímica WATEQF, que permite conocer el estado de saturación de las muestras de agua respecto a distintos minerales que pueden estar presentes en el terreno. El programa estudia la presencia de diversos minerales y compara los valores de saturación termodinámicos con los valores de las correspondientes actividades. Con la comparación y posterior cálculo logarítmico asigna los índices de saturación que, para las aguas estudiadas, se presentan resumidas en la tabla VI. Los índices en positivo indican una saturación o sobresaturación del mineral en la respectiva muestra de agua. En negativo indican, por el contrario, la insaturación del mineral en la muestra correspondiente. A partir de los datos utilizados, en ausencia de especies metálicas con comportamiento *redox* se han estudiado los siguientes minerales: anhidrita, CaSO_4 (An); aragonito, CaCO_3 (Arg); artinita, $\text{MgCO}_3\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (Art); brucita, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (Bru); calcita, CaCO_3 (Ca); dolomita, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (Do); halita, NaCl (Ha); hidromagnesita, $\text{Mg}_4(\text{CO}_3)_3(\text{OH})_2$ (Hidr); huntita, $\text{CaMg}_3(\text{CO}_3)_4$ (Hu); magnesita, MgCO_3 (Mag); mirabilita, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (Mi); nacolita, NaHCO_3 (Nac); natrón, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (Nat); nesquehonita, $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (Nes); termonatrita, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Them); ternardita, NaSO_4 (The); trona, $\text{Na}_3(\text{HCO}_3)(\text{CO}_3) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Tro), y yeso, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Y).

Tabla vi. Índices de saturación para agua de la hoya de Huesca según el programa WATEQF.

| Muestra | Minerales estudiados | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|
| | An | Arg | Art | Bru | Ca | Do | Y | Ha | Hu | Hidr | Mag | Mi | Nac | Nat | Nes | The | Them | Tro |
| 1 | -1,77 | -0,12 | -7,45 | -6,43 | 0,03 | -0,42 | -1,44 | -7,67 | -5,14 | -16,15 | -0,78 | -7,84 | -4,66 | -10,07 | -3,80 | -9,27 | -11,98 | -16,75 |
| 2 | -1,69 | -0,29 | -7,38 | -6,40 | -0,14 | -0,62 | -1,34 | -7,58 | -5,41 | -16,25 | -0,81 | -7,57 | -4,72 | -10,07 | -3,83 | -9,05 | -12,03 | -16,90 |
| N3 | -1,91 | 0,39 | -5,21 | -4,64 | 0,54 | 0,66 | -1,56 | -7,88 | -2,95 | -12,11 | -0,22 | -7,85 | -4,99 | -9,46 | -3,24 | -9,34 | -11,45 | -16,55 |
| 4 | -0,67 | -0,24 | -7,87 | -6,08 | -0,09 | -0,12 | -0,25 | -5,61 | -4,03 | -14,06 | -0,34 | -4,82 | -3,93 | -8,38 | -3,35 | -6,57 | -10,58 | -14,93 |
| 5 | -1,66 | 0,66 | -5,00 | -4,65 | 0,81 | 1,18 | -1,27 | -7,52 | -1,91 | -11,05 | 0,05 | -7,36 | -4,71 | -9,00 | -2,96 | -9,00 | -11,11 | -16,13 |
| 6 | -1,90 | -0,58 | -8,38 | -6,71 | -0,42 | -1,19 | -1,51 | -7,62 | -6,58 | -17,68 | -1,09 | -7,52 | -4,82 | -10,15 | 4,11 | 9,16 | -12,25 | -17,39 |
| 7 | -1,61 | -0,42 | -7,99 | -6,59 | -0,27 | -0,98 | -1,25 | -7,63 | -6,19 | -17,28 | -1,02 | -7,41 | -4,79 | -10,14 | -4,04 | -8,94 | -12,15 | -17,15 |
| 8 | -2,36 | 0,29 | -5,62 | -5,08 | 0,45 | 0,27 | -1,96 | -8,07 | -3,93 | -13,67 | -0,49 | -8,19 | -5,04 | -9,49 | -3,51 | -9,88 | -11,65 | -17,05 |
| 9 | -3,05 | -0,49 | -8,51 | -7,31 | -0,03 | -1,46 | -2,62 | -9,83 | -7,55 | -19,57 | -1,43 | -11,20 | -6,02 | -12,64 | 4,44 | -13,01 | -14,89 | -21,38 |
| 10 | -1,63 | -0,41 | -8,14 | -6,79 | -0,25 | -1,01 | -1,24 | -7,67 | -6,36 | -17,69 | -1,07 | -7,29 | -4,71 | -10,02 | -4,09 | -8,94 | -12,13 | -17,15 |
| 11 | -1,82 | 0,48 | -5,52 | -5,00 | 0,64 | 0,76 | -1,39 | -7,55 | -2,83 | -12,34 | -0,18 | -7,26 | -4,71 | -8,96 | -3,19 | -9,06 | -11,21 | -16,39 |
| 12 | -1,58 | -0,23 | -7,56 | -6,56 | -0,08 | -0,76 | -1,25 | -6,86 | -5,97 | -17,25 | -1,02 | -6,95 | -4,42 | -9,49 | 4,04 | -8,38 | -11,39 | -15,92 |
| 13 | -1,86 | -1,29 | -10,85 | -8,51 | -1,13 | -2,61 | -1,50 | -8,01 | -9,41 | -22,34 | -1,81 | -8,27 | -4,96 | -11,61 | -4,82 | -9,80 | -13,62 | -18,79 |
| 14 | -1,79 | -0,40 | -8,17 | -6,29 | -0,25 | -0,43 | -1,41 | -7,57 | -4,65 | -14,94 | -0,51 | -7,38 | -4,60 | -9,92 | -3,53 | -8,96 | -11,98 | -16,84 |
| 15 | -1,89 | -1,29 | -10,88 | -8,44 | -1,14 | -2,55 | -1,53 | -8,14 | -9,21 | -21,99 | -1,74 | -8,36 | -4,99 | -11,68 | 4,75 | -9,89 | -13,69 | -18,89 |
| 16 | -2,03 | 0,42 | -5,32 | -4,81 | 0,58 | 0,66 | -1,66 | -7,88 | -3,00 | -12,36 | -0,24 | -7,91 | -4,94 | -9,39 | -3,25 | -9,49 | -11,44 | -16,64 |
| 17 | -1,90 | -0,46 | -8,11 | -6,68 | -0,30 | -1,04 | -1,54 | -7,36 | -6,35 | -17,54 | -1,06 | -7,36 | -4,61 | -9,83 | -4,08 | -8,89 | -11,84 | -16,66 |
| 18 | -1,80 | -0,26 | -7,34 | -6,27 | -0,11 | -0,71 | -1,52 | -6,96 | -5,74 | -16,66 | -0,95 | -7,34 | -4,49 | -9,62 | -3,98 | -8,56 | -11,34 | -15,75 |
| 19 | -2,36 | -0,38 | -8,08 | -6,71 | -0,22 | -0,88 | -1,99 | -8,27 | -6,04 | -17,25 | -0,98 | -8,79 | -5,03 | -10,74 | -3,99 | -10,38 | -12,79 | -18,09 |
| 20 | -1,81 | -0,38 | -8,06 | -6,84 | -0,23 | -1,07 | -1,42 | -6,96 | -6,58 | -18,07 | -1,15 | -6,89 | -4,42 | -9,42 | 4,17 | -8,53 | -11,52 | -16,26 |
| 21 | -1,41 | -0,27 | -7,73 | -6,56 | -0,12 | -0,75 | -1,05 | -8,75 | -5,84 | -16,98 | -0,96 | -8,54 | -5,36 | -11,32 | -3,97 | -10,07 | -13,32 | -18,89 |
| 22 | -1,51 | -0,34 | -7,94 | -6,72 | -0,19 | -0,94 | -1,14 | -7,69 | -6,27 | -17,60 | -1,07 | -7,35 | -4,76 | -10,11 | -4,08 | -8,93 | -12,16 | -17,18 |

Tabla VI. (continuación)

| Muestra | Minerales estudiados | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|
| | An | Arg | Arr | Bru | Ca | Do | Y | Ha | Hu | Hidr | Mag | Mi | Nac | Nat | Nes | The | Them | Tro |
| 23 | -1,57 | -0,44 | -8,15 | -6,85 | -0,29 | -1,17 | -1,19 | -7,77 | -6,77 | -18,25 | -1,19 | -7,38 | -4,83 | -10,20 | -4,21 | -9,02 | -12,31 | -17,45 |
| 24 | -1,32 | -0,11 | -7,41 | -6,22 | 0,04 | -0,20 | -0,99 | -6,86 | -4,51 | -15,13 | -0,58 | -6,44 | -4,16 | -9,11 | -3,60 | -7,82 | -10,97 | -15,19 |
| 25 | -1,37 | -0,23 | -7,66 | -6,44 | -0,08 | -0,55 | -1,03 | -7,34 | -5,34 | -16,26 | -0,81 | -7,07 | -4,57 | -9,83 | -3,82 | -8,55 | -11,78 | -16,52 |
| 26 | -1,42 | -0,22 | -7,65 | -6,43 | -0,07 | -0,53 | -1,08 | -7,39 | -5,29 | -16,20 | -0,79 | -7,18 | -4,59 | -9,88 | -3,81 | -8,66 | -11,83 | -16,59 |
| 27 | -1,41 | -0,17 | -7,67 | -6,39 | -0,02 | -0,33 | -1,05 | -6,79 | -4,80 | -15,57 | -0,64 | -6,46 | -4,20 | -9,15 | -3,66 | -7,99 | -11,15 | -15,57 |
| 28 | -1,41 | -0,29 | -8,14 | -6,69 | -0,13 | -0,59 | -0,99 | -6,45 | -5,34 | -16,36 | -0,76 | -5,68 | -3,92 | -8,54 | -3,78 | -7,43 | -10,75 | -15,09 |
| 29 | -1,66 | -0,35 | -7,92 | -6,68 | -0,19 | -0,91 | -1,29 | -7,59 | -6,16 | -17,43 | -1,04 | -7,49 | -4,73 | -10,10 | -4,05 | -9,02 | -12,11 | -17,05 |
| 30 | -1,64 | -0,34 | -7,83 | -6,39 | -0,19 | -0,67 | -1,29 | -7,40 | -5,48 | -16,26 | -0,82 | -7,38 | -4,68 | -9,99 | -3,83 | -8,87 | -11,94 | -16,78 |
| 31 | -1,65 | -0,35 | -7,89 | -6,47 | -0,20 | -0,73 | -1,29 | -7,51 | -5,63 | -16,50 | -0,86 | -7,45 | -4,73 | -10,07 | -3,88 | -8,98 | -12,08 | -17,02 |
| 32 | -1,70 | -0,33 | -7,88 | -6,55 | -0,18 | -0,78 | -1,34 | -7,52 | -5,78 | -16,82 | -0,92 | -7,56 | -4,74 | -10,11 | -3,93 | -9,09 | -12,11 | -17,06 |
| 33 | -1,73 | -0,34 | -7,96 | -6,69 | -0,18 | -0,86 | -1,36 | -7,61 | -6,05 | -17,29 | -0,99 | -7,61 | -4,76 | -10,15 | -4,01 | -9,19 | -12,20 | -17,22 |
| 34 | -1,56 | 0,75 | -4,79 | -4,47 | 0,91 | 1,47 | -1,18 | -7,18 | -1,24 | -10,12 | 0,24 | -7,03 | -4,50 | -8,65 | -2,78 | -8,61 | -10,71 | -15,47 |
| 35 | -1,88 | -0,60 | -8,16 | -6,52 | -0,45 | -1,24 | -1,55 | -7,56 | -6,64 | -17,59 | -1,12 | -7,70 | -4,91 | -10,31 | -4,14 | -9,13 | -12,22 | -17,24 |
| 36 | -1,64 | -0,13 | -7,55 | -6,51 | 0,02 | -0,43 | -1,29 | -7,56 | -5,17 | -16,24 | -0,78 | -7,55 | -4,58 | -9,94 | -3,80 | -9,03 | -11,89 | -16,64 |
| 37 | -1,56 | -0,24 | -7,71 | -6,45 | -0,09 | -0,56 | -1,22 | -7,45 | -5,34 | -16,26 | -0,80 | -7,33 | -4,61 | -9,92 | -3,82 | -8,81 | -11,87 | -16,64 |
| 38 | -1,63 | -0,19 | -7,55 | -6,45 | -0,04 | -0,53 | -1,29 | -7,52 | -5,36 | -16,37 | -0,83 | -7,58 | -4,65 | -10,03 | -3,85 | -9,01 | -11,94 | -16,69 |
| 39 | -2,05 | -0,31 | -7,83 | -6,57 | -0,15 | -0,75 | -1,69 | -8,18 | -5,79 | -16,88 | -0,93 | -8,75 | -5,14 | -10,92 | -3,95 | -10,28 | -12,92 | -18,27 |

En general, las aguas estudiadas están insaturadas en la mayoría de los minerales relacionados con las evaporitas. No ocurre lo mismo con los minerales carbonatados. Las muestras de agua superficial 3 (río Isuela en Banastás), 8 (pantano de Arguis), 11 (río Isuela en San Miguel) y 16 (río Isuela en Nueno), presentan índices positivos de saturación en varios minerales carbonatados. Esto indica una saturación o sobresaturación en aragonito, calcita y dolomita. Las muestras 5 (acequia de la alberca de Loreto) y 34 (fuente de Alerre) presentan saturación o sobresaturación en los minerales citados y, además, en magnesita. Finalmente, se observan índices ligeramente positivos, una leve saturación en calcita, para las muestras de agua de los pozos 1 (pozo de la Politécnica), 24 (pozo de la depuradora de Huesca) y 36 (pozo de A. S.). Esta saturación en minerales carbonatados cálcicos o magnésicos es coherente con la naturaleza carbonatada de la zona.

Para una presentación visual simple y lo más completa posible de las aguas estudiadas, se ha procedido a representarlas en los diagramas de Piper y Stiff.

Diagramas de Piper

Se han elaborado dos diagramas de Piper (figs. 3 y 4) utilizando el programa Diagrammes. Uno para la mayoría de las muestras, diferenciando las que pertenecen al acuífero de la hoya de Huesca y las que rodean a este. En el segundo, se presentan las muestras del acuífero de Apiés. Para la elaboración de ambos diagramas se ha tenido en cuenta el contenido de nitratos. La clasificación en los diversos tipos de agua se presenta en las tablas VII y VIII.

En ambos casos, se observa que las muestras se encuentran bastante agrupadas, indicando un quimismo similar que puede relacionarse con una litología con dominancia del carbonato cálcico, en la línea de lo indicado por el programa WATEQF. Hay excepciones como el dato aislado de la figura 3, el ya comentado dren de Loreto. La muestra aislada de la figura 4 es la fuente vieja de Fornillos.

La mayoría de las muestras de agua se encuentran clasificadas como bicarbonatadas y/o sulfatadas, cálcicas y/o magnésicas.

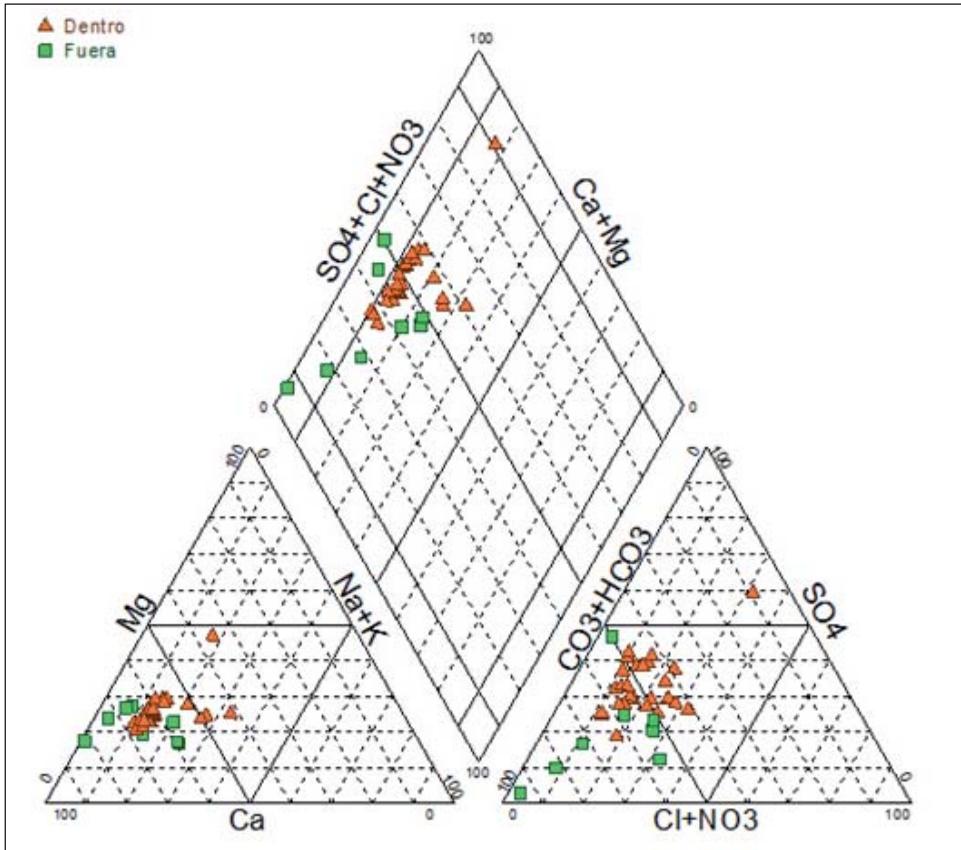


Fig. 3. Diagrama de Piper para aguas del acuífero de la hoya de Huesca y circundantes.

Tabla VII. Clasificación hidroquímica de las aguas del acuífero de la hoya de Huesca.

| <i>Muestras</i> | <i>Clasificación del agua</i> |
|--|--|
| 1, 3, 6, 8, 9, 10, 11, 16, 17, 18, 19, 29, 33, 36, 37, 38 y 39 | Bicarbonatadas cálcicas |
| 4 | Sulfatada cálcica y/o magnésica |
| 2, 5, 7, 21 y 32 | Bicarbonatadas y/o sulfatadas cálcicas |
| 22, 23, 25, 26, 27, 30 y 31 | Sulfatadas cálcicas |
| 24 y 28 | Sulfatadas cálcicas y/o magnésicas |
| 34 | Clorurada cálcica |
| 35 | Clorurada cálcica y/o magnésica |
| 20 | Bicarbonatada y/o clorurada cálcica |

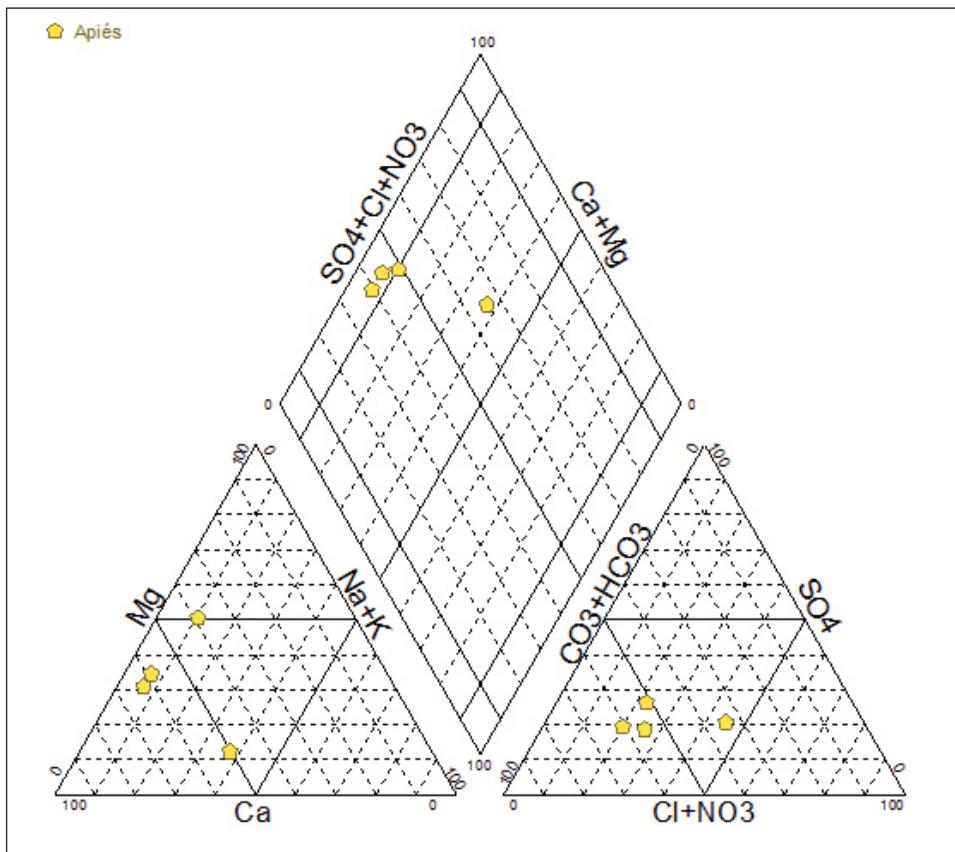


Fig. 4. Diagrama de Piper del acuífero de Apiés.

Tabla VIII. Clasificación hidroquímica de las aguas del acuífero de Apiés.

| Muestras | Clasificación del agua |
|----------|-------------------------------------|
| 12 | Sulfatada y/o clorurada cálcica |
| 13 y 15 | Bicarbonatadas cálcicas |
| 14 | Bicarbonatada magnésica y/o cálcica |

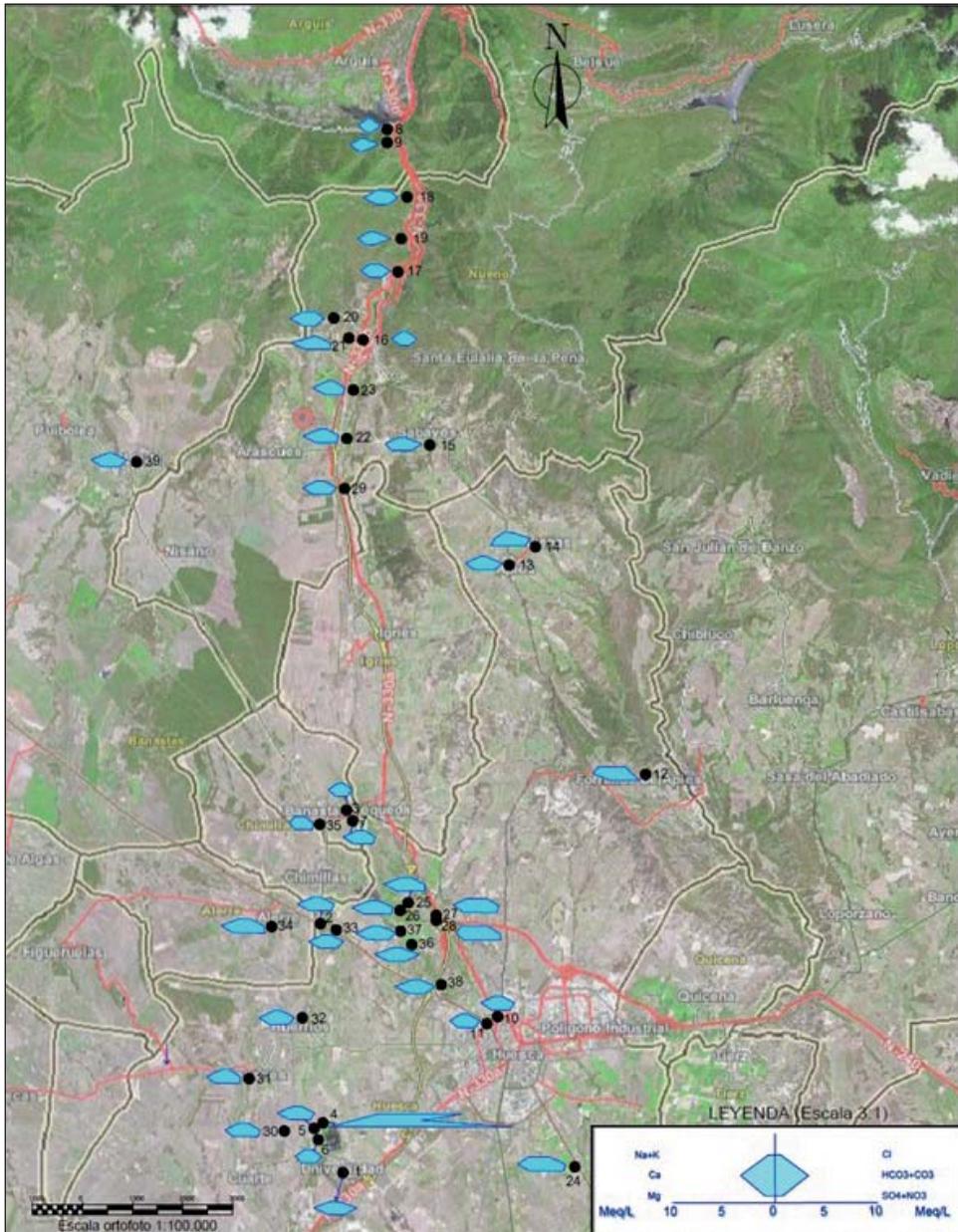


Fig. 5. Mapa – diagrama de Stiff de aguas de la hoya de Huesca sobre imagen de visor 2D del SITAR.

Diagramas de Stiff

Los diagramas de Stiff se han presentado sobre el mapa topográfico en la figura 5. Permiten apreciar y comparar la distribución geográfica de la composición química de las aguas. Refuerzan la conclusión sobre la similitud en la química de las aguas, dado que la mayoría de los polígonos indica agua bicarbonatada cálcica. También se encuentran muestras con distinta forma que reflejan una elevada carga en sulfatos, nitratos y magnesio, como la muestra 14 (fuente de Lienas) y las muestras 27 y 28 (barranco de Manjarrés y fuente de Jara). También se observa el mayor valor de cloruros en la muestra 12 (fuente vieja de Fornillos). La excepción, como tantas veces, es la muestra 4, dren de la alberca de Loreto.

Si se observa el mapa, parece establecerse de manera general una cierta tendencia espacial debida al aumento en la carga iónica de las muestras de agua en dirección sur del acuífero, reflejado por el aumento del tamaño de los polígonos.

Nitratos en aguas subterráneas

Como se ha señalado, se ha considerado de interés hacer un apartado específico sobre la presencia de nitratos. Parte de las muestras de agua analizadas en el presente artículo van destinadas al abastecimiento de poblaciones: 7 (ibones de Yéqueda); 9 (manantial de San Clemente), para Arguis; 18 (pozo de los baños de Nueno) y 20 (Fonturbia), para Nueno; 22 (pozo de Arascués); 29 (Las Paulesas), para Huesca; 30 (ibón de Cuarte); 31 (manantial de Banariés) y 32 (fuente de Huerrios), para estas localidades, y 33 (pozo de Atades), para este establecimiento. La 34 es la fuente tradicional de Alerre, junto a la iglesia. Teniendo en cuenta el Real Decreto 140/2003 que establece los valores límite o paramétricos para aguas destinadas a consumo humano, los datos obtenidos se encuentran por debajo de estos límites a excepción de los nitratos. En concreto, las muestras 30, 31 y 34 superan ampliamente el valor paramétrico de 50 mg/L. En adición, la muestra 32 está en el límite. Como el problema es persistente, varias localidades como Cuarte y Banariés disponen de equipos de desnitrificación.

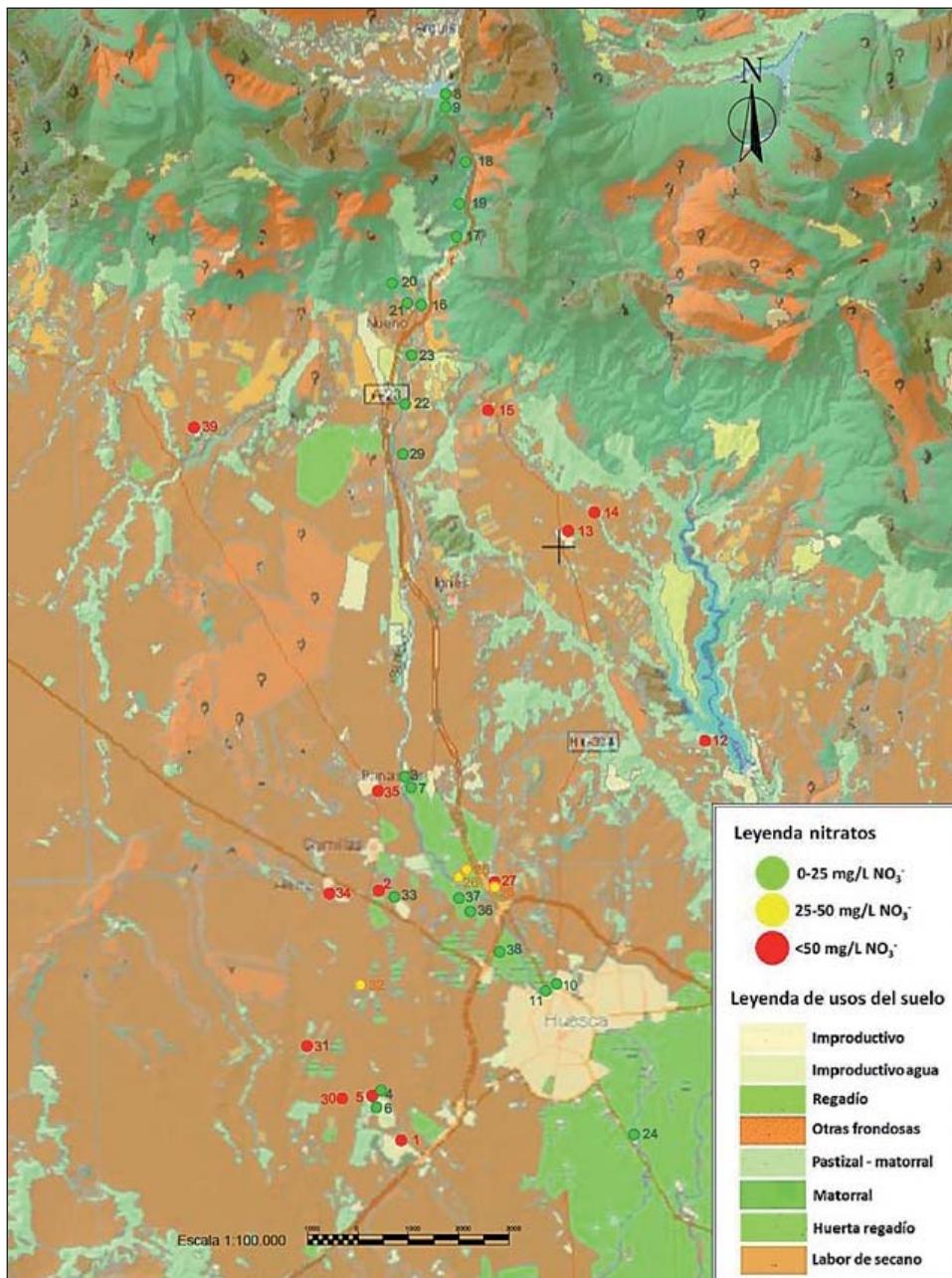


Fig. 6. Mapa de distribución espacial de la concentración de nitratos sobre usos del suelo según visor del SIGA.

El problema de concentraciones elevadas de nitratos no es nuevo en esta zona, como ya señalaron LARREY y LASAOSA (1994) y LARREY y cols. (1996). Aunque el tema merece un estudio específico mucho más detallado, la distribución espacial de la concentración de nitratos se recoge en la figura 6, en la que se representan los datos del estudio. En la zona norte, por encima de Nueno, se observan puntos en color verde, que corresponden a bajas concentraciones de nitratos, en zonas sin uso agrario. Responderían a una concentración *base* de nitratos debida a causas naturales, del orden de los 5 mg/L. Al noreste de la figura se observan los cuatro puntos en color rojo correspondientes al acuífero de Apiés, cuyas aguas subterráneas están contaminadas por nitratos de tipo agrícola desde hace más de veinte años. En la parte sur del acuífero de la hoya de Huesca sería de esperar un incremento en la concentración de nitratos a favor del flujo del agua subterránea y de la incorporación progresiva de abonos. Efectivamente, esto se observa en la zona de agricultura de secano. Sin embargo, en el regadío de la Comunidad de Regantes del Pantano de Arguis aparece un conjunto de puntos (color verde) con concentraciones bajas en nitratos. Puede deberse a dos causas. Es posible que sea menor la fertilización nitrogenada, dado que abundan las residencias secundarias sobre los campos de cultivo. Pero, por otro lado, también a que se riega con aguas del río Isuela, que, como se muestra en la tabla III, tienen menor concentración de nitratos. En este caso, estaríamos ante un proceso de dilución.

Para establecer una posible evolución temporal en la concentración de nitratos, en la figura 7 se han comparado los valores obtenidos en este artículo con los que presenta IGUAL (2014) para esta misma zona, muestreados seis meses antes y que se determinaron mediante el mismo método analítico. Dejando aparte las aguas superficiales, en general se observan relativamente pequeñas variaciones en las concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas. De los resultados no se puede establecer que haya una variación general debido a periodos lluviosos de lavado o a las fases de fertilización de fondo (octubre) y cobertera (febrero). La excepción es el acuífero de Apiés, en el que se observa una disminución general, al igual que en la fuente vieja de Lierta, un punto de agua aislado que corresponde a un pequeño acuífero poco estudiado. Como no se ha controlado la gestión del nitrógeno agrícola, no es fácil sugerir una explicación. Una vez más, este tema necesitaría un estudio temporal más detallado.

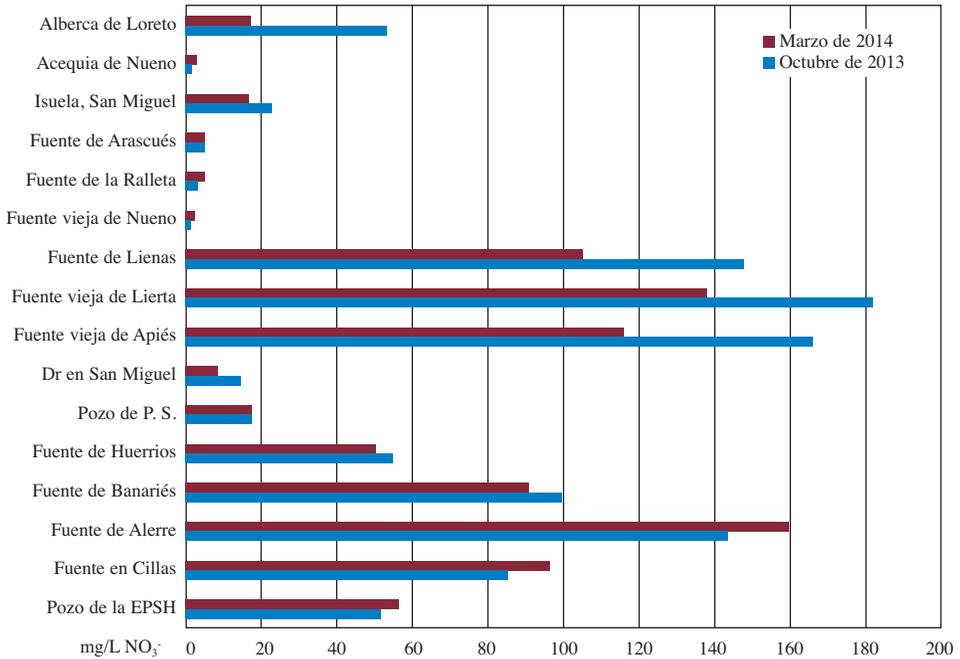


Fig. 7. Variación temporal de la concentración de nitrato en algunos puntos de la zona estudiada.

CONCLUSIONES

Las aguas del acuífero de la hoya de Huesca presentan una concentración creciente de contenido salino desde el norte hacia el sur, siguiendo la dirección de flujo del agua subterránea.

De manera general, las aguas analizadas en este artículo indican que son aguas muy duras o incrustantes y con muy bajos contenidos en materia orgánica.

Nueve muestras de agua presentan sobresaturación en minerales carbonatados, acorde con la litología calcárea dominante en la zona.

Según los diagramas de Piper, la mayoría de las muestras de agua se clasifican como bicarbonatado cálcicas. Los diagramas de Stiff indican una similitud en la química de las aguas, con alguna excepción interesante.

En las zonas de secano del acuífero de la hoya de Huesca se observan mayores niveles de nitratos que en las zonas de riego. Esto se atribuye al efecto del riego con agua del río Isuela, baja en nitratos.

Las aguas subterráneas del acuífero de Apiés presentan concentraciones elevadas en nitratos. Los altos niveles se deben a una contaminación de tipo agrícola.

De las muestras que se destinan a agua de boca, cuatro superan el valor límite de nitratos establecido para aguas de consumo humano.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Ó. Larrey, I. Monesma, D. Monaj, I. Bernal, P. Santolaria, A. Boné, A. Solanes, T. Rivarés y J. L. Villarroel su colaboración en el muestreo. A J. M. Garcés, J. A. Manso y A. Callizo, su ayuda en el laboratorio; y a E. Martínez, la suya en la confección de las figuras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) y WPCF (Water Pollution Control Federation) (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Díaz de Santos. Madrid.
- BUERA, J., J. A. CUCHÍ y J. A. MANSO (1997). Hidroquímica de las aguas naturales de los sectores occidental y central de la sierra de Guara (Huesca). *Lucas Mallada*, 9: 35-63.
- CUCHÍ, J. A. (1998). Esquema general de las unidades hidrogeológicas del Alto Aragón. *Lucas Mallada*, 10: 87-105.
- CUCHÍ, J. A. (2004). *Caracterización de las masas de agua subterráneas de la provincia de Huesca: Somontanos*. (Documento sin publicar).
- 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., M. Á. PUYAL y J. A. MANSO (1998). Hidroquímica de aguas naturales del Pirineo aragonés. *Lucas Mallada*, 10: 173-188.
- CUCHÍ, J. A., J. L. VILLARROEL SALCEDO y J. A. MANSO (2002). Características del manantial de Fuenmayor (San Julián de Banzo, Huesca). *Geogaceta*, 31: 75-78.
- CUCHÍ, J. A., H. MILLÁN y A. POCOVÍ (2003). Quelques informations géologiques sur les eaux thermales en relation avec les calcaires dans le Haut Aragon (Espagne). *10^{ème} Journée technique du Comité Français de la AIH. Circulations hydrothermales en terrains calcaires*: 39-46. Carcasona.

- FAO (2002). Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas. FAO (FAO irrigation and drainage paper, 61). Roma.
- GARRIDO, E. A., y A. AZCÓN (1994). Naturaleza y características de los aprovechamientos con aguas subterráneas al sur de las Sierras Exteriores pirenaicas. *Actas del Congreso Nacional de Agua y Medio Ambiente*: 15-25. Zaragoza.
- GIMENO, Y. (1995). *Impacto del uso de agroquímicos (nitratos y fitosanitarios) en agricultura de secano. Aplicación al acuífero detrítico de Apiés (Huesca)*. Proyecto fin de carrera. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Huesca.
- GIMENO, Y., y J. A. CUCHÍ (1996). El karst de la cuenca alta del río Isuela (Prepirineo, Huesca). *Congreso sobre recursos hídricos en regiones kársticas*: 145-156. Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz. Vitoria.
- GIMENO, Y., y J. A. CUCHÍ (1997). Contaminación por nitratos en el acuífero de Apiés (Huesca). *Geológica*, 5: 59-71.
- IGUAL, N. (2014). *Contaminación por nitratos en acuíferos del somontano altoaragonés*. Trabajo fin de grado. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Huesca.
- LARREY, Ó., y J. C. LASAOSA (1994). *Estudio de las características hidroquímicas de las aguas subterráneas en el somontano de Huesca*. Proyecto fin de carrera. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Huesca.
- LARREY, Ó., y J. C. LASAOSA, R. C. DÍAZ y J. A. CUCHÍ (1996). Niveles de ion nitrato en aguas subterráneas de la hoya de Huesca. *Kalium*, 5: 117-127.
- 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.
- PANREAC (1999). Aguas potables de consumo público y aguas de bebida envasadas. En *Métodos oficiales de análisis. Analíticos en alimentaria*: 81-83. Panreac. Montcada i Reixac [Barcelona].
- Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. *BOE*, 21 de febrero de 2003, núm. 45: 7228-7245.
- SÁNCHEZ, J. Á. (1988). *Los recursos hídricos de las sierras de Guara y sus somontanos*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 27). Huesca.
- SUBÍAS, M., J. A. CUCHÍ y J. A. MANSO (2002). Hidroquímica de la cuenca del río Vero (Huesca). *Somontano*, 7: 33-45.
- TRABA, L. (2015). *Caracterización hidroquímica del acuífero de Huesca*. Trabajo fin de grado (Ciencias Ambientales). Escuela Politécnica Superior de Huesca. Huesca.
- VILLARROEL, J. L., y J. A. CUCHÍ (2002). Análisis de respuesta de Fuenmayor (San Julián de Banzo, Huesca): primeros resultados. *Geoceta*, 31: 71-74.

Lucas Mallada, 17: 45 a 57
ISSN: 0214-8315, e-ISSN: 2445-060X
<http://revistas.iea.es/index.php/LUMALL>
Huesca, 2015

ESTUDIO ARQUEOMÉTRICO DE MÁRMOLES PROCEDENTES DEL TEATRO ROMANO DE HUESCA

Hernando ROYO¹
Francisco Javier RUIZ²
José Luis CEBOLLA³
José Antonio CUCHÍ⁴
Pilar LAPUENTE^{5,1}

RESUMEN.— El presente artículo muestra los resultados del estudio arqueométrico de tres piezas romanas procedentes del teatro romano de Huesca, y de una moldura de una *domus* romana ubicada junto al mismo, pero cronológicamente anterior. Se ha realizado un análisis mediante estudio petrográfico macroscópico y microscópico, completado con el análisis de catodoluminiscencia. Los resultados sugieren que los materiales proceden de canteras próximas a las ciudades romanas de *Tarraco*, *Simitthus* y *Docimium*.

Recepción del original: 18-9-2015

¹ Institut Català d'Arqueologia Clàssica. Plaça d'en Rovellat, s/n. E-43003 TARRAGONA. hroyo@icac.cat

² Arqueólogo profesional. C/ Aznar Molina, 13, esc. izq., 8.º D. E-50002 ZARAGOZA. jrccadix@hotmail.com

³ Arqueólogo profesional. C/ San Blas, 50-58, 1.º A. E-50003 ZARAGOZA. arq1960@gmail.com

⁴ 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

⁵ Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, 12. E-50009 ZARAGOZA. plapuent@unizar.es

ABSTRACT.— The present paper shows the results of the archeometric study of three Roman pieces from the Roman theatre of Huesca, and one molding from a Roman *domus* located near the theatre but chronologically earlier. An analysis has been performed by a macroscopic and microscopic petrographic study, completed by a thermoluminescence analysis. The results suggest that the materials were from quarries near the Roman cities of *Tarraco*, *Simithus* and *Docimium*.

KEY WORDS.— Roman marble, archaeometry, *Oscá* (Huesca, Spain).

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, se han publicado diversos estudios arqueométricos sobre mármoles usados en época romana que han sido encontrados en la ciudad de Huesca (LAPUENTE y cols., 2013 y 2015). Estos estudios ofrecen diversa luz sobre el origen geológico de los materiales utilizados en esta época y aumentan el conocimiento sobre este periodo tan interesante de la historia, que se incrementa conforme se realizan y estudian nuevos hallazgos como los de este artículo.

EL TEATRO ROMANO DE HUESCA

En el año 2006, se hallaron las primeras estructuras arqueológicas atribuibles al teatro romano de Huesca en la intervención arqueológica de urgencia realizada durante los trabajos de rehabilitación del edificio de la calle Canellas, n.º 5 (CEBOLLA y cols., 2006). Allí se exhumaron una serie de cimentaciones (*substructiones*) que nos sitúan frente a un edificio de indudable monumentalidad y cuya estructura guarda total semejanza con el sistema constructivo de los edificios romanos dedicados a espectáculos teatrales.

Durante la excavación arqueológica se documentaron dos cámaras radiales o *camarae* construidas con muros de *opus caementicium* y que exhiben una técnica edilicia característica de las grandes construcciones públicas romanas, como es el hecho de presentar embutidos dentro de la obra de *opus caementicium* grandes sillares de arenisca. Estas *camerae* constituyen la característica cimentación alveolar perteneciente a la estructura interna de un teatro romano: ofrecen una sólida base para el apoyo del graderío (*cavea*). En nuestro caso, se trataría de dos cámaras pertenecientes al anillo que soportaría la parte superior del graderío o *summa*

cavea. Al exterior de estas cámaras se halló un gran espacio de planta basilical con dos pilares centrales, construido con grandes sillares de arenisca (*opus quadratum*). Este recinto corresponde a una galería cubierta o *crypta* que tendría una importante función en la circulación de los espectadores por el edificio, pues daría acceso al graderío a través de los *vomitoria* (RUIZ y CEBOLLA, 2014).

Lo descubierto del teatro romano de Huesca hasta el momento son cimentaciones, por lo que resulta lógico que casi no contemos con hallazgos muebles relacionados con la parte visible de este edificio, con excepción de tres fragmentos de piedras ornamentales que pudieron formar parte de su revestimiento marmóreo. Se trata de un fragmento de losa caliza (n.º 3) de 2,5 centímetros de grosor perteneciente a la unidad estratigráfica (UE) 9 (fig. 1.3) y dos placas de 1,5 centímetros de grosor. Una de ellas, la hallada en la UE 11 (n.º 2), presenta unas líneas ligeramente incisas (fig. 1.2), mientras que el pequeño fragmento de mármol de color blanco (n.º 4) fue encontrado en el pozo 2 (fig. 1.4).

Como ya se ha señalado, todas estas piezas fueron encontradas en diversos niveles islámicos (UE 9 y pozo 2), cuya cronología puede situarse en la segunda mitad del siglo IX, y en una fosa de saqueo bajomedieval datada entre finales del siglo XIII y principios del XIV (UE 11). Una de las características de las unidades estratigráficas 9 y 11 es la gran presencia de material romano de carácter residual, como fragmentos de *terra sigillata* hispánica, cerámica engobada o diversos materiales constructivos. Este hecho permitió aventurar la posibilidad de que estas placas pudieron formar parte del revestimiento o de los pavimentos marmóreos que ornamentaron el teatro, en lo cual incide el presente estudio arqueométrico sobre la procedencia geológica de estas piezas.

La construcción del teatro debe ponerse en relación con el cambio de estatus de la ciudad romana de *Oscá* a *Municipium Urbs Victrix Oscá*, fechado probablemente en algún momento del tercer cuarto del siglo I a. C. De esta manera, la ciudad debió de dotarse ya en época de Augusto (29 a. C. – 14 d. C.) de un conjunto de edificios monumentales de acuerdo con su nueva condición de municipio romano, que se traduciría en una importante remodelación urbana. Probablemente hacia el cambio de era se edificó, en el cuadrante suroriental de la ciudad, un nuevo centro público de carácter monumental con

edificios de funcionalidad civil y comercial característicos de una urbe de su importancia y vinculados al foro imperial (CEBOLLA y cols., 2006).

Como parte integrante de este gran conjunto monumental de carácter excepcional, se levanta el teatro localizado en la calle Canellas, n.º 5, que se sitúa en el entorno inmediato del foro de la ciudad. Al igual que había ocurrido en la capital del Imperio, *Roma*, en las principales ciudades hispanas se lleva a cabo un proceso de monumentalización y ornamentación: son los teatros, junto al resto de edificios de espectáculos, una parte fundamental de esta transformación. Aunque el teatro pudo ser planificado tempranamente en la etapa augustea como elemento de prestigio del nuevo *Municipium Urbs Victrix Osca*, su construcción no debió de iniciarse hasta el reinado del emperador Tiberio (14-37 d. C.), y sería terminado posiblemente con Claudio (41-54 d. C.), según indican los datos arqueológicos (RUIZ y CEBOLLA, 2014).

Además de los restos arqueológicos pertenecientes al teatro romano de Huesca, en su exterior se documentaron varios muros construidos con grandes sillares de arenisca (*opus quadratum*), que delimitaban al menos tres estancias. Estos restos se han interpretado como pertenecientes a una *domus* o vivienda romana que pudo ser construida en torno al año 20 a. C., por lo tanto en un contexto plenamente augusteo, y que fue amortizada entre los años 10-20 d. C. (RUIZ y CEBOLLA, 2014). Probablemente, fue derruida para llevar a cabo la construcción del teatro, y quedó colmatada por un nivel, la UE 3, de matriz arcillosa de color marrón con abundantes carbones, cantos y numerosos materiales constructivos (fragmentos de *tegulae*, *imbrices*, sillares de arenisca, *opus caementicium*, etcétera), además de fragmentos cerámicos y huesos de fauna. Entre estos restos constructivos se recuperó una moldura de piedra caliza (n.º 1), que podría pertenecer a un zócalo o a una cornisa (fig. 1.1).

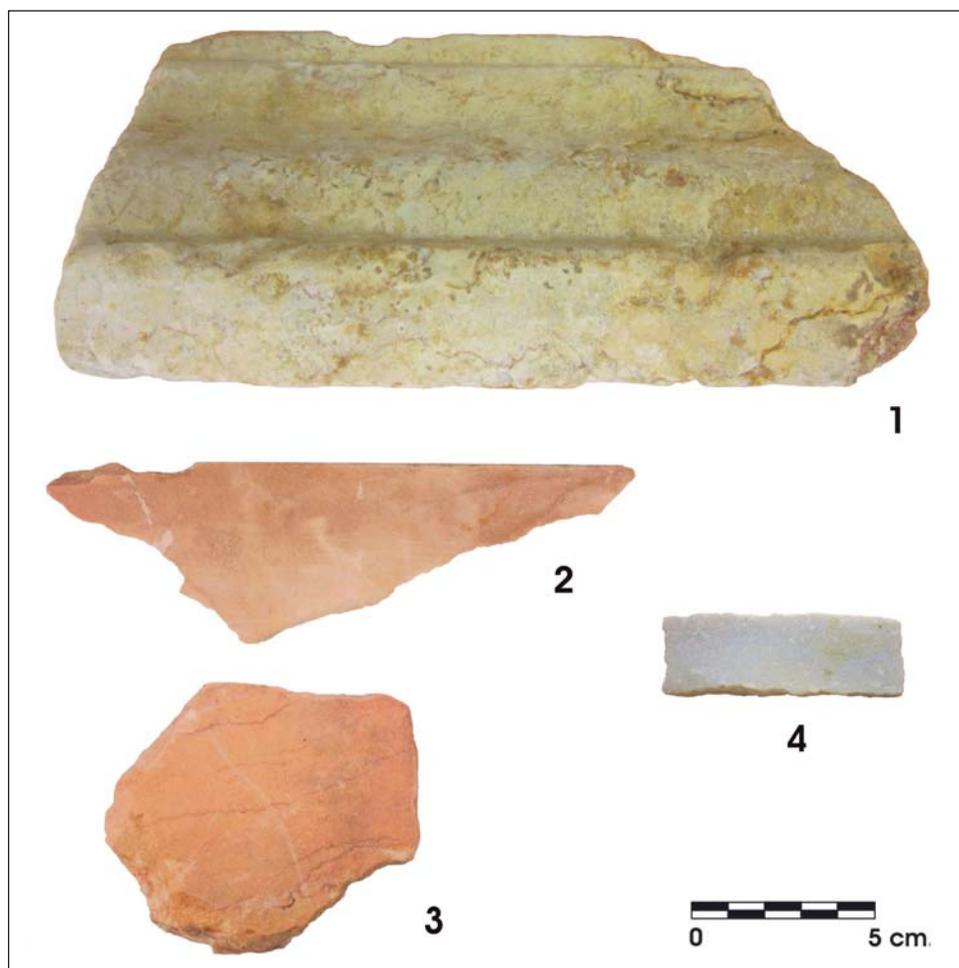
MATERIAL, MÉTODOS Y EQUIPOS

Materiales estudiados

A partir de una primera identificación visual, y con la debida autorización, se tomaron cuatro muestras en los almacenes del Museo de Huesca, que se presentan en la tabla I y figura 1.

Tabla 1. Materiales estudiados procedentes del teatro romano de Huesca y de una *domus*.

| <i>Código de la muestra</i> | <i>Tipo de material</i> | <i>Número del inventario de la pieza de origen</i> | <i>Procedencia dentro del yacimiento / UE</i> | <i>Observaciones</i> |
|-----------------------------|-------------------------|--|---|----------------------|
| 80-HU | Mármol | 06.27.1463 | Pozo 2 | N.º 4 |
| 81-HU | Caliza cristalina | 06.27.1044 | UE 3 | N.º 1 |
| 82-HU | Caliza cristalina | 06.27.1362 | UE 9 | N.º 3 |
| 83-HU | Caliza cristalina | 06.27.705 | UE 11 | N.º 2 |

**Fig. 1.** Imágenes de las piezas estudiadas en este artículo.

Métodos

Sobre las muestras obtenidas se han realizado diversos análisis macroscópicos y microscópicos.

Los análisis macroscópicos se han llevado a cabo sin alterar la muestra, mediante su observación con luz natural o junto con una fuente de luz complementaria (lámpara), ayudados de una lupa binocular. Este análisis consiste en la identificación de las características a escala macroscópica del material, y fundamentalmente atienden a la composición mineral observable, el tamaño de grano cualitativo, color, uniformidad litológica, fracturación, etcétera.

Por el contrario, los análisis petrológicos y químicos requieren la preparación previa de las muestras. Así, de cada una de las muestras proporcionadas se ha elaborado una lámina delgada para su estudio petrográfico o análisis mediante microscopía óptica de luz polarizada, que se completa con el análisis de catodoluminiscencia. La elaboración de las láminas delgadas se ha realizado en el servicio de corte de rocas del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza (Unizar). Dichas láminas delgadas, sin cubrir, con un grosor de 30 μm , se han teñido parcialmente mediante rojo de alizarina para reconocer la naturaleza de los minerales carbonatados presentes (discriminación entre calcita y dolomita).

El análisis microscópico se ha efectuado en un microscopio óptico de polarización con nícoles paralelos y nícoles cruzados. Mediante este microscopio es posible determinar la composición mineralógica de la muestra, observando el comportamiento óptico que presenta cada mineral al ser atravesado por un haz de luz polarizada. En este análisis se presta una especial atención a los criterios composicionales (mineralogía), texturales y granulométricos. El protocolo establece que se tomen microfotografías de todas las muestras en condiciones de luz polarizada plana (NP) y luz polarizada cruzada (NC) para facilitar el estudio y la comparación.

El análisis de catodoluminiscencia (CL) aprovecha la capacidad luminiscente que presentan los carbonatos, dependiente de la concentración de algunos elementos en la red cristalina, como el Mn^{2+} o el Fe^{2+} , que son bombardeados directamente por un haz de electrones generado con el dispositivo CITL CL8200 Mk-5-1. Las muestras se analizan al vacío y se

observa su respuesta con un microscopio petrográfico al que se le ha acoplado el dispositivo. Esta técnica se ha aplicado a las muestras para su identificación, y presentan un comportamiento luminiscente dependiente de la emisión de fotones característica: con un color, intensidad y distribución particulares de esta luminiscencia. Este fenómeno se registra fotográficamente en el microscopio, y así se definen las distribuciones de catodoluminiscencia típicas de cada uno de los mármoles más conocidos, que pueden ser utilizadas como base de datos para posteriores comparaciones. Igualmente se han realizado microfotografías de la catodoluminiscencia observada (CL) para su cotejo mediante una cámara Nikon Coolpix MDC Lens.

Por último, valorando los diferentes resultados obtenidos, la muestra se compara con otras muestras de referencia de los principales tipos de rocas ornamentales empleados en época romana. Su identificación se aborda aplicando este conjunto de análisis mineralógicos y geoquímicos, con la misma metodología, tanto en las muestras de cantera como en las piezas arqueológicas a investigar. Esta caracterización resulta más completa cuantas más técnicas se apliquen, valorando los resultados de varios análisis como un estudio multimétodo.

Este conjunto de análisis se ha realizado en el Área de Geología y Geoquímica del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza (Unizar) y en la Unidad de Estudios Arqueométricos (UEA) del Institut Català d'Arqueologia Clàssica (ICAC). Para tal fin, se han empleado los materiales de referencia depositados en el Laboratorio para el Estudio de Materiales Lapídeos de la Antigüedad (LEMLA), junto con las colecciones de muestras depositadas tanto en la Unizar como en el ICAC, muestras a las que se les ha aplicado una idéntica metodología analítica.

Equipo

En las observaciones con la lupa binocular se ha utilizado una lupa Zeiss Stemi 2000-C; para las descripciones microscópicas se ha dispuesto de un microscopio de luz polarizada Nikon Eclipse 50i POL, a 30x, 60x y 150x, con un dispositivo acoplado CITL CL8200 Mk5-1 para el estudio de

la catodoluminiscencia. Las fotografías se han tomado con una cámara Nikon Coolpix 5400 acoplada al microscopio mediante un adaptador Nikon Coolpix MDC Lens.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis arqueométrico de las cuatro piezas arqueológicas estudiadas mediante la aplicación conjunta de diferentes métodos analíticos ha permitido identificar la procedencia del material lítico empleado en cada una de ellas. Se ha reconocido un tipo de mármol blanco, el mármol de Afyon (n.º 4), y dos tipos de calizas recristalizadas amarillentas: el Giallo antico (n.º 2) y la piedra de Santa Tecla (n.ºs 1 y 3).

La muestra 80-HU (n.º 4) es un mármol blanco de grano fino. Microscópicamente se constata su composición principal calcítica (tinción), fábrica isótropa, textura granoblástica inequigranular, tamaño máximo de grano (MGS) de 0,6 milímetros, forma de los contactos cristalinos (GBS) suturada o lobulada, con maclas finas y gruesas tabulares, ocasionalmente deformadas con extinción ondulante solo en estos cristales. Contiene como minerales accesorios óxidos de hierro dispersos (opacos), y aisladamente cristales de cuarzo o apatito. Su catodoluminiscencia tiene una distribución heterogénea, de intensidad muy débil a muy fuerte y tonos rojizos anaranjados oscuros a anaranjados, con irregularidades intracristalinas en sectores, incluidos ocasionalmente relictos de intensidad muy débil. Estas características permiten identificar la variedad blanca del mármol de Afyon o *Docimium* (fig. 2).

La muestra 83-HU (n.º 2) se corresponde con una caliza micrítica de tonalidad amarillenta-crema homogénea. En el estudio microscópico, se corrobora su homogeneidad: presenta una matriz recristalizada a seudoesparita de tamaño muy fino y composición calcítica, únicamente se observa algún cristal calcítico aislado de mayor tamaño, posiblemente restos de placas de crinoideos. Contiene como mineral accesorio cristales de feldespatos idiomorfos que muestran macla de Carlsbad característica, además de óxidos de hierro dispersos. Su catodoluminiscencia es consecuentemente homogénea de intensidad media y tonalidad rojiza anaranjada, con los cristales de calcita de mayor tamaño marcados por una intensidad mayor y la evidente

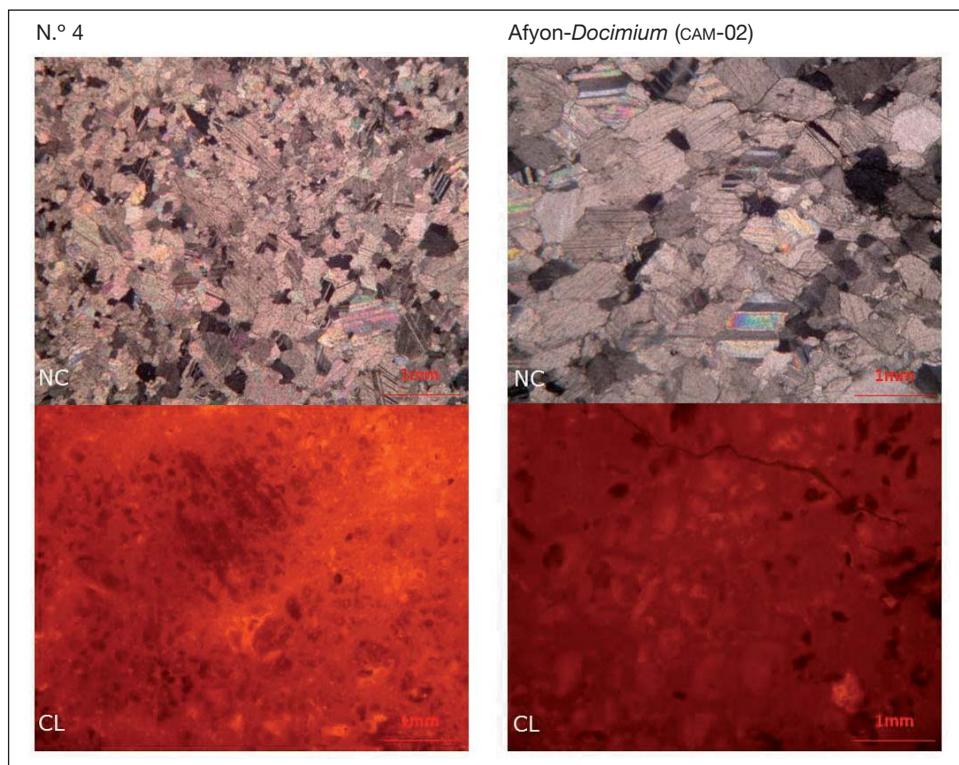


Fig. 2. Microfotografías con nícoles cruzados (NC) y catodoluminiscencia (CL) de la muestra de mármol analizada y una muestra del material identificado como referencia.

presencia de minerales accesorios no luminiscentes (fig. 2). Sus características petrográficas son típicas del denominado Giallo antico, o *marmor Numidicum*, que se explotaba en las canteras imperiales de Chemtou, cerca de la ciudad antigua de *Simitthus*, en Túnez.

Por su parte, 81-HU y 82-HU (n.ºs 1 y 3) comparten tipología, son calizas de tonalidad amarillenta, con venas blancas y estilolitos rojizos, algo alterada tras haber perdido parcialmente su coloración superficial. Microscópicamente se clasifica como una caliza recrystalizada (*packstone*) compuesta casi en su totalidad por una matriz de seudoesparrita de grano fino. Presenta venas y otras porosidades secundarias rellenas de cemento esparítico. Su catodoluminiscencia es heterogénea con intensidades variables de media-débil a fuerte, y tonos rojizos y anaranjados, con zonas de mayor

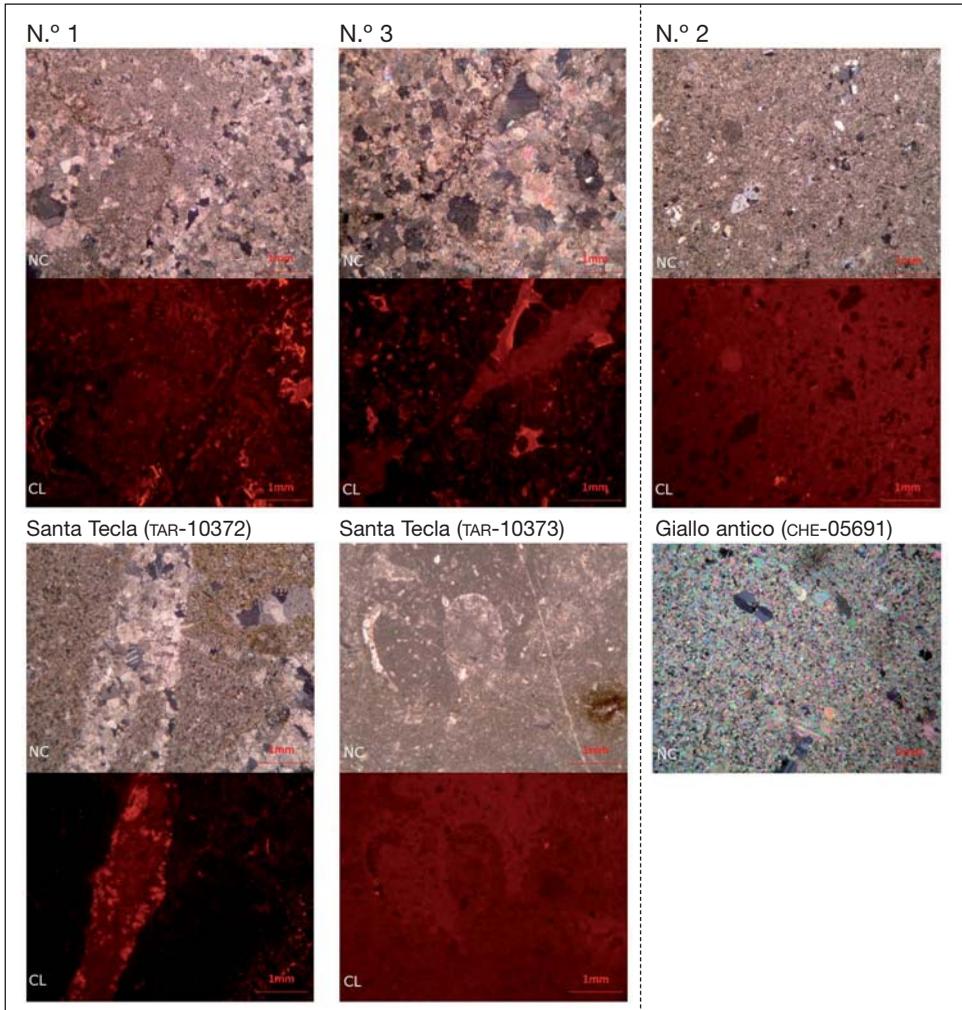


Fig. 3. Microfotografías con nícoles cruzados (NC) y catodoluminiscencia (CL) de la muestra de mármol analizada y una muestra del material identificado como referencia.

contraste de intensidad asociadas al cemento esparítico: débil en cristales relictos y muy fuerte en recrecimientos. Características coincidentes con la variedad recristalizada de la piedra de Santa Tecla (fig. 3).

A modo de conclusión, podemos destacar la identificación de un mármol blanco de procedencia no hispana, concretamente el mármol de Afyon, en *Docimium* (actualmente Iscehisar, en Turquía), conocido como *marmor Phrygium* en la Antigüedad o como Pavonazzetto, en su variedad brechada de color violáceo. La distribución de este material por el Mediterráneo es muy amplia (BORGHINI, 1989), se halla tanto por toda la costa de *Hispania* como en el interior.

El Giallo antico o *marmor Numidicum* es también un material importado, explotado en las canteras de Chemtou, en la ciudad romana de *Simitthus*. Al igual que la variedad brechada del mármol de Afyon —el Pavonazzetto—, es una de las piedras ornamentales de color más empleadas y valoradas en el Imperio romano. Muy difundido también en la península ibérica, se halla profusamente en la costa mediterránea, aun existiendo materiales locales de tonalidad similar como la piedra de Santa Tecla o el Buixcarró (MAYER, 1997).

Junto con estas variedades, también se utilizaron materiales hispanos. Este es el caso de la piedra de Santa Tecla, caliza amarillenta explotada en las proximidades de Tarragona (Tarragona, España), la antigua *Tarraco*, capital de la Provincia Tarraconense. Ampliamente utilizada en *Tarraco* desde la época de Augusto (RODÀ, 2005), tuvo una importante difusión hacia el norte, en la zona de *Barcino*, y se utilizó en otros lugares más alejados de la península como *Caesar Augusta* y *Carthago Nova* (ÀLVAREZ y cols., 2009) e incluso *Labitolosa* o la propia *Oscá* (LAPUENTE y cols., 2015). Así, queda constatado en el teatro romano de *Oscá*, al igual que en otros yacimientos de la Tarraconense, el uso conjunto del Giallo antico y la piedra de Santa Tecla.

En la figura 4 se sitúan las canteras de donde han sido extraídas las rocas identificadas, en relación con el yacimiento en el que se han hallado los elementos arqueológicos estudiados.

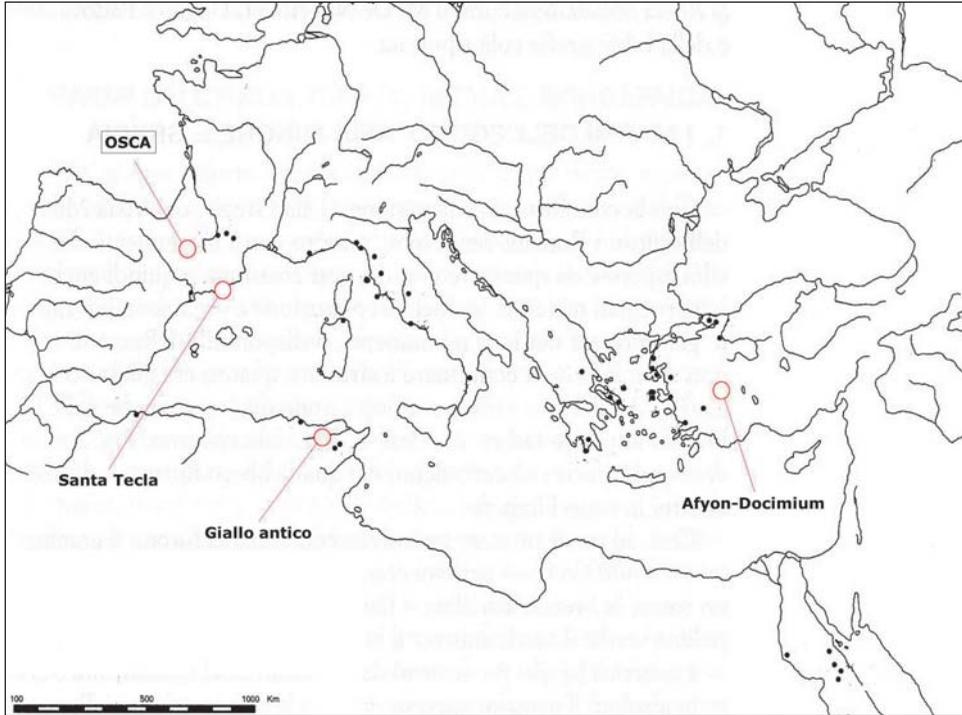


Fig. 4. Mapa de procedencias, modificado a partir de LAZZARINI (2004: 73).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la ayuda y la colaboración de Pedro Ayuso, del Museo de Huesca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÀLVAREZ, A., V. GARCÍA-ENTERO, I. RODÀ y A. GUTIÉRREZ (2009). *El mármol de Tarraco / Tarraco Marmor: explotació, utilització i comercialització de la pedra de Santa Tecla en època romana / The Quarrying, Use and Trade of Santa Tecla Stone in Roman Times*. ICAC. Tarragona.
- BORGHINI, G. (1989). *Marmi antichi*. De Luca Edizioni d'Arte. Roma.
- CEBOLLA, J. L., J. I. ROYO y F. J. RUIZ (2006). El área monumental de la *Urbs Victrix Osca*. En A. Castán, *Comarca de la Hoya de Huesca*: 84-86. Diputación General de Aragón (Colección Territorio, 22). Zaragoza.

- LAPUENTE, P. (2014). Archaeometry on stones. Multi-method approach to investigate stone provenance. Studied cases from Roman Hispanic marmora. *Archaeometry Workshop 2014/XI/3*: 149-158. *Hungarian National Museum e-journal*. URN: urn:nbn:hu-4106.
- LAPUENTE, P., B. TURI y Ph. BLANC (2009). Marbles and coloured stones from the Theatre of Caesaraugusta (*Hispania*). Preliminary study. *Bulletin de Correspondance Hellénique*, suppl. 51: 509-522.
- LAPUENTE, P., J. A. CUCHÍ, H. ROYO y C. GARCÉS (2013). Estudio arqueométrico del sarcófago romano hoy tumba del rey aragonés Ramiro II el Monje. *Bolskan*, 24 (2013): 73-84.
- LAPUENTE, P., H. ROYO, J. A. CUCHÍ, J. JUSTES y M. PREITE-MARTÍNEZ (2015). Local stones and marbles found in the territory of “Alto Aragón” (*Hispania*), in Roman times. En P. Pensabene y E. Gasparini (eds.), *Interdisciplinary Studies on Ancient Stone*. Proceedings of the Tenth International Conference of ASMOSIA (Rome, 21-26 May 2012): 191-200. L’Erma di Bretschneider. Roma.
- LAZZARINI, L. (2004). *Pietre e marmi antichi. Natura, caratterizzazione, origine, storia d’uso, diffusione, collezionismo*. CEDAM. Padua.
- MAYER, M. (1997). Sobre las calizas amarillas de la franja costera de la *Hispania* citerior. En P. Pensabene (ed.), *Marmi antichi, II. Cave e tecnica di lavorazione, provenienza e distribuzione*: 99-110. L’Erma di Bretschneider (Studi Miscellanei, 31). Roma.
- RODÀ, I. (2005). La difusión de los mármoles pirenaicos en *Hispania* y la datación epigráfica de los inicios de la explotación de las canteras. En *L’Aquitania et l’Hispanie septentrionale à l’époque julio-claudienne. Organisation et exploitation des espaces provinciaux*. Colloque Aquitania (Saintes, 11-13 septembre 2003), suppl. 3: *Aquitania*, supplément, 3: 461-471.
- RUIZ, F. J., y J. L. CEBOLLA (2014). El teatro del *Municipium Urbs Victrix Osca*: evolución urbana. *Bolskan*, 25 (2014): 221-269.

FLORA VASCULAR DE LA ALBERCA DE LORETO

Joaquín ASCASO¹
Javier YERA²

RESUMEN.— Se presenta el listado de las plantas vasculares identificadas en la alberca de Loreto (Huesca). Consta de 326 taxones con rango específico o subespecífico pertenecientes a 59 familias. Se indica para cada taxón su localización respecto a la lámina de agua. Parte de las plantas tienen especial interés biogeográfico por ser raras o no conocidas en la zona central del valle del Ebro.

ABSTRACT.— The article shows a list of 326 vascular plants collected in the wetland area of Alberca de Loreto (Huesca), belonging to 59 families, with their respective location relative to the water surface. Several plants have a special biogeographical interest because they are uncommon or unknown in the central area of Ebro Valley.

KEY WORDS.— Floristics, vascular plants, wetland, Huesca (Spain).

INTRODUCCIÓN

Esta misma revista acogió en 2002 la publicación de un catálogo de las plantas vasculares reconocidas en la alberca de Loreto del término municipal

Recepción del original: 29-9-2015

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. jascaso@unizar.es

² Servicio Provincial de Zaragoza. Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad. Gobierno de Aragón. Paseo María Agustín, 36. E-50071 ZARAGOZA. fjyera@aragon.es

de Huesca (ASCASO y YERA, 2002). Prospecciones posteriores han puesto en evidencia la presencia de taxones no contemplados en aquel momento y que suponen una aportación sustancial. Por otra parte, esta flora es de uso habitual por parte de los alumnos de los grados de Ciencias Ambientales y de Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural de la Universidad de Zaragoza (Escuela Politécnica Superior) para diversas prácticas. Ambas razones nos llevan a publicar el catálogo actualizado y no una adenda al ya existente.

Asimismo, otro aspecto es la consideración por parte de la Administración en los últimos años de los humedales como zonas de especial interés para la conservación (Ley 42/2007, Decreto 204/2010). Entendemos que, además de otros factores, la flora es uno de los elementos que sería preciso conocer en el proceso de selección de áreas protegidas y de la elección de las medidas pertinentes para su conservación e incluso mejora.

En Europa el grado de conocimiento de la distribución de las plantas está bastante avanzado y, además, accesible a través de bases de datos que permiten la actualización. En este sentido, y con respecto a nuestra comunidad, pueden citarse las bases de datos de Anthos, *Atlas de la flora de Aragón* o GBIF. Sin embargo, se observa que a escalas detalladas los datos son parciales y hay desproporción entre la representación de los taxones raros o de sistemática particular o que tengan un estatus de conservación definido y el resto de las plantas. Prueba de ello son los datos existentes para la zona que se estudia y el elevado número de taxones reconocidos.

OBJETIVO

Identificación de las plantas vasculares de la alberca de Loreto, en el término municipal de Huesca.

METODOLOGÍA

El trabajo está basado en la prospección, herborización e identificación de las plantas vasculares de la alberca de Loreto (municipio de Huesca). Además, se han consultado diversas obras y bases de datos que figuran en la bibliografía. El material identificado se conserva en el herbario DAHU de la Escuela Politécnica Superior de Huesca (Universidad de Zaragoza).

El catálogo se atiene en la sistemática y nomenclatura a *Flora iberica* (CASTROVIEJO y cols., 1986-2014). Las familias cuyos volúmenes no han sido todavía publicados o expuestas las pruebas de imprenta son tratadas según la *Flora manual dels Països Catalans* (BOLÒS y cols., 2005). En los taxones con discordancia entre el tratamiento de *Flora iberica* y la *Flora manual dels Països Catalans* se explicita esta última entre corchetes [].

Las familias y especies o subespecies están ordenadas alfabéticamente en tres grupos: pteridófitos y, dentro de las angiospermas, dicotiledóneas y monocotiledóneas.

CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN

La alberca de Loreto está ubicada en el municipio de Huesca a 470 metros de altitud y UTM 30TYM1066. Se usa para riego y ocupa una superficie de 19 hectáreas. Es un embalse artificial con excavación y obra de hormigón en parte de su contorno. La construcción original es anterior al siglo XVI (LATORRE, 1994), ha sufrido diversas intervenciones y en la actualidad presenta una capacidad muy mermada por colmatación.

El agua proviene del embalse de Arguis (CUCHÍ, 2005). Los aportes se producen a lo largo de todo el año, aunque de forma mayoritaria en invierno, y las extracciones en primavera y verano. No se dispone de datos sobre las variaciones del volumen y la lámina de agua intra e interanuales. No obstante, las observaciones permiten reconocer un régimen muy heterogéneo tanto a lo largo del año como entre años distintos. Los casos extremos se observan en algunos años al final del invierno con su volumen máximo y desecación total en verano.

Se ha establecido una zonación de la alberca a efectos de caracterizar sucintamente el medio donde se han encontrado las plantas. Para cada taxón se indican las zonas de la alberca de Loreto donde se ha encontrado. La zonación utilizada no puede considerarse rigurosa, sino simplemente orientativa. El hecho de que para determinado taxón se señalen unas zonas no implica que no pueda estar en otras. Las zonas reconocidas se describen a continuación y vienen reflejadas en la figura 1. En el texto se indican con sus códigos.

- Z1, zona central del vaso en la que existe mayor profundidad de agua (máximo 2,5 metros) y que suele quedar vacía en verano.
- Z2, zona que circunda a la anterior, con profundidad máxima de 1 metro y suele perder el agua hacia el final de la primavera.
- Z3, zona que circunda a la anterior, con profundidad máxima 0,5 metros, supone el nivel máximo de agua y suele perder el agua hacia mayo.
- Z4, zona ajena al freático que circunda la alberca y que está formada por materiales aportados para constituir el vaso de la balsa o suelo sobre gravas de terrazas fluviales localmente cementadas.
- Z5, depresiones externas al vaso de la alberca que temporalmente tienen agua con origen en las pérdidas laterales de la balsa.
- Z6, acequias de entrada y salida (se consideran solo 50 metros adyacentes).
- Z7, zona situada en la cola del embalse, que presenta un bosque de *Salix alba*.

Se incluyen árboles que han sido plantados en la zona noroeste con la indicación de –Plantado–.

No se considera la flora de los campos de cultivo, cunetas y lugares ruderalizados próximos.

CATÁLOGO FLORÍSTICO

Pteridófitos

Equisetaceae

Equisetum ramosissimum Desf., Z3.

Angiospermas

Dicotiledóneas

Araliaceae

Hedera helix L., Z7.

Aristolochiaceae

Aristolochia pistolochia L., Z4.

Bignoniaceae

Catalpa bignonioides Walter –Plantado–.

Boraginaceae

Buglossoides arvensis (L.) I. M. Johnst. subsp. *arvensis* [*Lithospermum arvense* L. subsp. *arvense*], Z4.

Cynoglossum cheirifolium L. subsp. *cheirifolium*, Z4.



Fig. 1. Sectorización de la alberca de Loreto. (Foto: Instituto Geográfico de Aragón)

- Cynoglossum creticum* Mill., Z4.
Echium vulgare L., Z4.
Heliotropium europaeum L., Z2, Z3.
Neotostema apulum (L.) I. M. Johnst., Z4.

Caprifoliaceae

- Sambucus nigra* L., Z6.

Caryophyllaceae

- Arenaria leptoclados* (Reichenb.) Guss. [*Arenaria serpyllifolia* L. subsp. *leptoclados* (Reichenb.) Nyman], Z4.
Cerastium glomeratum Thuill., Z4.
Cerastium semidecandrum L., Z4.
Herniaria glabra L., Z2, Z3, Z4.
Paronychia capitata (L.) Lam. subsp. *capitata*, Z4.
Silene vulgaris (Moench) Garcke subsp. *vulgaris*, Z4.
Stellaria pallida (Dumort.) Piré [*Stellaria media* (L.) Vill. subsp. *pallida* (Dumort.) Asch. y Graebn.], Z4.

Chenopodiaceae

- Atriplex patula* L., Z3.
Atriplex prostrata Boucher ex DC., Z2.
Camphorosma monspeliaca L. subsp. *monspeliaca*, Z4.
Chenopodium album L., Z3.
Chenopodium chenopodioides (L.) Aellen, Z3, Z4.
Chenopodium vulvaria L., Z3.

Cistaceae

- Helianthemum hirtum* (L.) Mill., Z4.
Helianthemum ledifolium (L.) Mill., Z4.
Helianthemum marifolium (L.) Mill. subsp. *marifolium*, Z4.
Helianthemum salicifolium (L.) Mill., Z3.

Compositae

- Anacyclus clavatus* (Desf.) Pers., Z3, Z4.
Andryala integrifolia L., Z4.
Arctium minus (Hill) Bernh., Z7.
Artemisia campestris L. subsp. *glutinosa* (Gay ex Besser) Batt., Z4.
Artemisia herba-alba Asso subsp. *herba-alba*, Z4.
Aster linosyris (L.) Bernh., Z5.
Aster squamatus (Sprengel) Hieron., Z2, Z3, Z5.
Bellis perennis L., Z3.
Calendula arvensis L., Z4.
Carduncellus monspelliensium All., Z4.
Carduus bourgeanus Boiss. y Reut., Z4.

- Carlina corymbosa* L. subsp. *hispanica* (Lam.) O. Bolòs y J. Vigo, Z4.
Carthamus lanatus L. [*Carthamus lanatus* L. subsp. *lanatus*], Z4.
Centaurea aspera L. subsp. *aspera*, Z4.
Centaurea cephalariifolia Willk. [*C. scabiosa* L. subsp. *scabiosa*], Z4.
Centaurea jacea L. subsp. *angustifolia* (DC.) Gremli, Z3.
Centaurea jacea L. subsp. *vinyalsii* (Sennen) O. Bolòs, Nuet y Panadera, Z4.
Centaurea melitensis L., Z4.
Centaurea ornata Willd. [*Centaurea ornata* Willd. subsp. *ornata*], Z4.
Chamaemelum nobile (L.) All., Z2, Z3, Z4, Z5.
Chondrilla juncea L., Z4.
Cichorium intybus L., Z3, Z5.
Cirsium arvense (L.) Scop., Z3, Z4.
Cirsium monspessulanum (L.) Hill, Z6.
Cirsium vulgare (Savi) Ten., Z6, Z7.
Conyza sumatrensis (Retz.) E. Walker, Z6.
Crepis pulchra L., Z4.
Crepis sancta (L.) Babcock., Z4.
Crepis vesicaria L. subsp. *taraxacifolia* (Thuill.) Thell. ex Schinz y R. Keller, Z4.
Dittrichia viscosa (L.) W. Greuter, Z4.
Filago pyramidata L. subsp. *pyramidata*, Z3.
Hedypnois rhagadioloides (L.) F.W. Schmidt, Z4.
Lactuca serriola L., Z4.
Leontodon taraxacoides (Vill.) Mérat subsp. *hispidus* (Roth) Kerguélen, Z3, Z5.
Mantiscalca salmantica (L.) Briq. y Cavillier, Z4.
Pallenis spinosa (L.) Cass. subsp. *spinosa*, Z4.
Picris echioides L., Z6.
Picris hieracioides L. subsp. *hieracioides*, Z4.
Pilosella tardans (Peter) Soják, Z4.
Pulicaria dysenterica (L.) Bernh. subsp. *dysenterica*, Z5.
Pulicaria paludosa Link, Z3.
Rhaponticum coniferum (L.) Greuter [*Leuzea conifera* (L.) DC.], Z4.
Santolina chamaecyparissus L. subsp. *squarrosa* (DC.) Nyman, Z4.
Scorzonera laciniata L., Z2, Z3.
Senecio vulgaris L., Z4.
Silybum marianum (L.) Gaertn., Z3.
Sonchus oleraceus L., Z3, Z4.
Sonchus tenerrimus L., Z3, Z7.
Taraxacum laevigatum (Willd.) DC., Z4.
Taraxacum obovatum (Willd.) DC., Z4.
Tragopogon dubius Scop., Z4.

- Tragopogon porrifolius* L. subsp. *australis* (Jord.) Nyman, Z6.
Xanthium echinatum Murray subsp. *italicum* (Moretti) O. Bolòs y J. Vigo, Z3.
Xanthium orientale L., Z2, Z3.
Xeranthemum inapertum (L.) Mill., Z4.

Convolvulaceae

- Calystegia sepium* (L.) R. Br. [*Calystegia sepium* (L.) R. Br. subsp. *sepium*], Z5, Z7.
Convolvulus arvensis L., Z2, Z3.
Convolvulus cantabrica L., Z4.
Convolvulus lineatus L., Z4.
Cuscuta campestris Yunck., Z4.

Cornaceae

- Cornus sanguinea* L. subsp. *sanguinea*, Z7.

Cruciferae

- Alyssum alyssoides* (L.) L., Z3.
Alyssum simplex Rudolphi, Z4.
Biscutella auriculata L., Z4.
Capsella bursa-pastoris (L.) Medik., Z3.
Diplotaxis eruroides (L.) DC., Z3, Z4.
Erophila verna (L.) Chevall., Z4.
Erucastrum nasturtiifolium (Poir.) O. E. Schulz subsp. *nasturtiifolium*, Z4.
Lepidium graminifolium L., Z4.
Rapistrum rugosum (L.) All. subsp. *rugosum*, Z3.
Rorippa nasturtium-aquaticum (L.) Hayek, Z6.
Sinapis arvensis L., Z3.
Sisymbrella aspera (L.) Spach subsp. *aspera* [*Rorippa aspera* (L.) Maire subsp. *aspera*], Z2, Z3.
Thlaspi perfoliatum L., Z4.

Dipsacaceae

- Dipsacus fullonum* L. [*Dipsacus fullonum* L. subsp. *fullonum*], Z7.
Scabiosa atropurpurea L., Z4.

Euphorbiaceae

- Chamaesyce prostrata* (Aiton) Small [*Euphorbia prostrata* Aiton], Z2, Z3.
Euphorbia exigua L. subsp. *exigua*, Z4.
Euphorbia helioscopia L. subsp. *helioscopia*, Z4.
Euphorbia hirsuta L., Z6.
Euphorbia serrata L., Z4.

Fagaceae

- Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp., Z4.
Quercus faginea Lam. –Plantado–.

Gentianaceae

Blackstonia perfoliata (L.) Huds. subsp. *perfoliata*, Z6.

Geraniaceae

Erodium cicutarium (L.) L'Hér. subsp. *cutarium*, Z3.

Geranium molle L., Z3.

Guttiferae

Hypericum perforatum L., Z4.

Hypericum tetrapterum Fr., Z6.

Hypericum tomentosum L. [*Hypericum tomentosum* L. subsp. *tomentosum*], Z3, Z5.

Juglandaceae

Juglans regia L. –Plantado–.

Labiatae

Ajuga chamaepitys (L.) Schreb., Z4.

Lamium amplexicaule L., Z3.

Lamium purpureum L., Z3.

Lycopus europaeus L., Z7.

Marrubium vulgare L., Z3.

Mentha aquatica L., Z7.

Mentha longifolia (L.) Huds., Z7.

Mentha pulegium L., Z2, Z5.

Phlomis lychnitis L., Z4.

Prunella vulgaris L., Z7.

Salvia verbenaca L., Z3.

Sideritis hirsuta L. [*Sideritis hirsuta* L. subsp. *hirsuta*], Z4.

Teucrium capitatum L. [*Teucrium polium* L. subsp. *capitatum* (L.) Arcang.], Z4.

Teucrium chamaedrys L. [*Teucrium chamaedrys* L. subsp. *pinnatifidum* (Sennen) Reich. fil.], Z4.

Teucrium gnaphalodes L'Hér. [*Teucrium polium* L. subsp. *gnaphalodes* (L'Hér.) O. Bolòs y Vigo], Z4.

Teucrium polium L. subsp. *polium*, Z4.

Teucrium scordium L. subsp. *scordium*, Z3.

Thymus vulgaris L., Z4.

Leguminosae

Argyrolobium zanonii (Turra) P. B. Ball, Z4.

Astragalus incanus L. subsp. *incanus*, Z4.

Astragalus sesameus L., Z3.

Coronilla scorpioides (L.) W. D. J. Koch, Z4.

Dorycnium gracile Jord. [*Dorycnium pentaphyllum* Scop. subsp. *gracile* (Jord.) Rouy], Z3.

- Dorycnium hirsutum* (L.) Ser., Z4.
Dorycnium pentaphyllum Scop. [*Dorycnium pentaphyllum* Scop. subsp. *pentaphyllum*], Z4.
Genista scorpius (L.) DC., Z4.
Gleditsia triacanthos L. –Plantado–.
Hippocrepis ciliata Willd. [*Hippocrepis multisiliquosa* L. subsp. *ciliata* (Willd.) Maire], Z4.
Lathyrus cicera L., Z4.
Lotus corniculatus L. subsp. *delortii* (Timb.-Lagr.) O. Bolòs y J. Vigo, Z5.
Medicago lupulina L., Z3.
Medicago minima (L.) L., Z3.
Medicago polymorpha L., Z3.
Medicago sativa L. [*Medicago sativa* L. subsp. *sativa*], Z3.
Robinia pseudoacacia L. –Plantado–.
Scorpiurus subvillosus L. [*Scorpiurus muricatus* L. subsp. *subvillosus* (L.) Thell.], Z3.
Trifolium lappaceum L., Z5.
Trifolium pratense L. subsp. *pratense*, Z6.
Trigonella gladiata M. Bieb., Z4.
Trigonella monspeliaca L., Z4.
Vicia peregrina L., Z4.

Linaceae

- Linum bienne* Miller, Z4, Z6.
Linum strictum L. subsp. *strictum*, Z3.

Lythraceae

- Lythrum salicaria* L., Z2, Z6.
Lythrum tribracteatum Sprengel, Z2, Z3.

Malvaceae

- Althaea cannabina* L., Z6.
Althaea officinalis L., Z2.
Malva sylvestris L., Z3.

Moraceae

- Ficus carica* L., Z7.

Oleaceae

- Fraxinus angustifolia* Vahl –Plantado–.
Ligustrum vulgare L., Z7.

Onagraceae

- Epilobium hirsutum* L., Z6.
Epilobium parviflorum Schreb., Z2.

Papaveraceae

Fumaria officinalis L. subsp. *officinalis*, Z4.

Fumaria officinalis L. subsp. *wirtgenii* (Koch) Arcang., Z4.

Papaver hybridum L., Z3.

Papaver rhoeas L., Z4.

Plantaginaceae

Plantago albicans L., Z4, Z3.

Plantago coronopus L. [*Plantago coronopus* L. subsp. *coronopus*], Z2.

Plantago lanceolata L., Z3.

Plantago major L., Z2, Z7.

Plantago maritima L. subsp. *serpentina* (All.) Arcang., Z5.

Polygalaceae

Polygala exilis DC., Z5.

Polygala monspeliaca L., Z4.

Polygonaceae

Polygonum amphibium L., Z1, Z2.

Polygonum aviculare L., Z3.

Polygonum lapathifolium L., Z2.

Polygonum persicaria L., Z2.

Rumex crispus L., Z2.

Rumex obtusifolius L., Z3.

Primulaceae

Anagallis arvensis L. [*Anagallis arvensis* L. subsp. *arvensis*], Z3.

Asterolinum linum-stellatum (L.) Duby, Z4.

Coris monspeliensis L. subsp. *monspeliensis*, Z4.

Samolus valerandi L., Z2, Z6, Z7.

Ranunculaceae

Clematis vitalba L., Z6.

Delphinium gracile DC. [*Delphinium peregrinum* L. subsp. *gracile* (DC.) O. Bolòs y Vigo], Z4.

Nigella gallica Jord., Z4.

Ranunculus aquatilis L. [*Ranunculus aquatilis* L. subsp. *aquatilis*], Z2, Z3.

Ranunculus repens L., Z6.

Ranunculus sardous Crantz [*Ranunculus sardous* Crantz subsp. *sardous*], Z2, Z3.

Ranunculus trilobus Desf. [*Ranunculus sardous* Crantz subsp. *trilobus* (Desf.) Rouy y Fouc.], Z2, Z3.

Resedaceae

Reseda lutea L. subsp. *lutea*, Z4.

Reseda phyteuma L. [*Reseda phyteuma* L. subsp. *phyteuma*], Z4.

Rosaceae

- Agrimonia eupatoria* L. subsp. *eupatoria*, Z3, Z6.
Crataegus monogyna Jacq. [*Crataegus monogyna* Jacq. subsp. *monogyna*], Z3.
Potentilla neumanniana Reichenb., Z4.
Potentilla reptans L., Z2.
Prunus dulcis (Mill.) D. A. Webb, Z4.
Prunus spinosa L., Z4.
Rubus caesius L., Z7.
Rubus ulmifolius Schott, Z4, Z6.
Sanguisorba minor Scop. subsp. *balearica* (Bourg. ex Nyman) Muñoz Garmendia y C. Navarro, Z4.
Sanguisorba verrucosa (Link ex G. Don) Ces. [*Sanguisorba minor* Scop. subsp. *verrucosa* (Link ex G. Don) Cout.], Z3.

Rubiaceae

- Galium aparine* L. subsp. *aparine*, Z6.
Galium debile Desv. [*Galium palustre* L. subsp. *debile* (Desv.) Bonnier y Layens], Z2, Z3.
Galium palustre L. [*Galium palustre* L. subsp. *palustre*], Z6.
Galium verum L. subsp. *verum*, Z4.
Sherardia arvensis L., Z4.

Rutaceae

- Ruta montana* (L.) L., Z4.

Salicaceae

- Populus × canadensis* Moench, Z2, Z7.
Salix alba L., Z2, Z6, Z7.
Salix atrocinerea Brot., Z7.
Salix babylonica L. –Plantado–.

Scrophulariaceae

- Bartsia trixago* L. [*Bellardia trixago* (L.) All.], Z4.
Gratiola officinalis L., Z2, Z3, Z5.
Kickxia elatine (L.) Dumort. subsp. *crinita* (Mabille) Greuter, Z3.
Linaria simplex Willd. [*Linaria arvensis* (L.) Desf. subsp. *simplex* (Willd.) Lange], Z4.
Scrophularia auriculata L., Z6,
Verbascum blattaria L., Z3.
Verbascum sinuatum L., Z4.
Veronica anagallis-aquatica L. subsp. *anagallis-aquatica*, Z6.

Solanaceae

- Solanum dulcamara* L., Z2.

Tamaricaceae

Tamarix canariensis Willd., Z3.

Ulmaceae

Celtis australis L. –Plantado–.

Ulmus laevis Pall. –Plantado–.

Ulmus minor Mill., Z3, Z7.

Umbelliferae

Apium graveolens L., Z6.

Apium nodiflorum (L.) Lag. [*Apium nodiflorum* (L.) Lag. subsp. *nodiflorum*], Z6.

Bupleurum tenuissimum L., Z4.

Daucus carota L., Z4.

Eryngium campestre L., Z3, Z4,

Foeniculum vulgare Mill. [*Foeniculum vulgare* Miller subsp. *piperitum* (Ucria) Coutinho], Z4.

Oenanthe lachenalii C.C. Gemel., Z3.

Seseli tortuosum L., Z4.

Torilis arvensis (Huds.) Link subsp. *recta* Jury, Z3.

Torilis nodosa (L.) Gaertn., Z4.

Urticaceae

Urtica dioica L., Z7.

Valerianaceae

Valerianella discoidea (L.) Loisel., Z4.

Valerianella eriocarpa Desv. var. *muricata* (Steven ex M. Bieb.) Krok [*Valerianella eriocarpa* Desv. subsp. *truncata* (Betcke) Burnat], Z3, Z4.

Verbenaceae

Verbena officinalis L., Z3.

Vitaceae

Vitis vinifera L., Z4.

Zygophyllaceae

Tribulus terrestris L., Z4.

Monocotiledóneas

Alismataceae

Alisma lanceolatum With. [*Alisma plantago-aquatica* L. var. *lanceolatum* (With.) Kunth], Z6.

Baldellia ranunculoides (L.) Parl., Z6.

Amaryllidaceae

Narcissus assoanus Dufour ex Schult. y Schult. fil., Z3, Z4.

Cyperaceae

- Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla [*Scirpus maritimus* L.], Z2, Z3, Z6.
Carex cuprina (I. Sándor ex Heuff.) Nendtv. ex A. Kern. [*Carex vulpina* L. subsp. *cuprina* (Heuff.) O. Bolòs y J. Vigo], Z2.
Carex divisa Huds., Z3.
Carex flacca Schreb., Z4, Z5.
Cyperus fuscus L., Z3.
Eleocharis palustris (L.) Roem. y Schult. subsp. *palustris*, Z1, Z2.
Schoenoplectus lacustris (L.) Palla subsp. *lacustris* [*Scirpus lacustris* L. subsp. *lacustris*], Z1, Z2.
Schoenus nigricans L., Z2, Z5.
Scirpoides holoschoenus (L.) Soják [*Scirpus holoschoenus* L.], Z5.

Gramineae

- Aegilops geniculata* Roth, Z3, Z4.
Agrostis stolonifera L. subsp. *stolonifera*, Z2, Z3, Z5.
Alpecurus myosuroides Huds., Z4.
Arundo donax L., Z6.
Avena barbata Pott ex Link subsp. *barbata*, Z4.
Avena sterilis L. subsp. *ludoviciana* (Durieu) Nyman, Z4.
Avenula bromoides (Gouan) H. Scholz subsp. *bromoides*, Z4.
Brachypodium distachyon (L.) Beauv., Z3.
Brachypodium phoenicoides (L.) Roemer y Schultes, Z4, Z5.
Brachypodium retusum (Pers.) Beauv., Z4.
Bromus hordeaceus L. subsp. *hordeaceus*, Z3, Z4.
Bromus madritensis L., Z3.
Crypsis schoenoides (L.) Lam., Z3.
Cynodon dactylon (L.) Pers., Z3.
Dactylis glomerata L. subsp. *hispanica* (Roth) Nyman, Z3.
Deschampsia media (Gouan) Roemer y Schultes subsp. *hispanica* (Vivant) O. Bolòs, J. R. Masalles y J. Vigo, Z3, Z5.
Desmazeria rigida (L.) Tutin subsp. *rigida*, Z3, Z4.
Dichanthium ischaemum (L.) Roberti, Z4.
Echinaria capitata (L.) Desf., Z4.
Echinochloa crus-galli (L.) P. Beauv. subsp. *crus-galli*, Z6.
Elymus campestris (Godron y Gren.) Kerguélen, Z5.
Elymus repens (L.) Gould subsp. *repens*, Z3, Z4.
Eragrostis minor Host, Z3.
Hordeum murinum L. subsp. *leporinum* (Link) Arcangeli, Z3, Z4.
Koeleria vallesiana (Honckeney) Gaudin, Z4.
Lolium rigidum Gaudin, Z4.

- Lygeum spartum* L., Z4.
Melica ciliata L. subsp. *magnolii* (Gren. y Godron) Husnot, Z4.
Parapholis incurva (L.) C. E. Hubbard, Z3.
Phalaris arundinacea L., Z6.
Phleum pratense L. subsp. *bertolonii* (DC.) Bornm., Z3.
Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steudel, Z1, Z6.
Poa annua L. subsp. *annua*, Z3.
Poa bulbosa L., Z3.
Poa pratensis L. subsp. *angustifolia* (L.) Gaudin, Z3.
Polypogon maritimus Willd., Z2, Z3.
Rostraria cristata (L.) Tzvelev, Z4.
Setaria viridis (L.) Beauv., Z3.
Vulpia ciliata Dumort. subsp. *ciliata*, Z3.

Iridaceae

- Chamaeiris reichenbachiana* (Klatt) M. B. Crespo [*Iris spuria* L. subsp. *maritima* P. Fourn.], Z6.
Gladiolus communis L. [*Gladiolus illyricus* Koch], Z4.

Juncaceae

- Juncus acutiflorus* Ehrh. ex Hoffm., Z3, Z5.
Juncus articulatus L., Z2.
Juncus bufonius L. [*Juncus bufonius* L. subsp. *bufonius*], Z5.
Juncus compressus Jacq. [*Juncus compressus* Jacq. subsp. *compressus*], Z2, Z5.
Juncus pygmaeus Rich. ex Thuill., Z5.

Liliaceae

- Allium oleraceum* L., Z4.
Allium paniculatum L. [*Allium paniculatum* L. subsp. *paniculatum*], Z4.
Allium roseum L., Z4.
Allium vineale L., Z3, Z4.
Aphyllanthes monspeliensis L., Z4.
Asparagus officinalis L., Z3.
Dipcadi serotinum (L.) Medik., Z4.
Merendera montana (Loefl. ex L.) Lange in Willk. y Lange, Z4.
Muscari neglectum Guss. ex Ten., Z3.
Ornithogalum narbonense L., Z4.
Ornithogalum divergens Boreau [*Ornithogalum umbellatum* L.], Z5.
Scilla autumnalis L., Z3.

Orchidaceae

- Ophrys fusca* Link, Z4.
Ophrys scolopax Cav., Z4.
Ophrys speculum Link, Z4.

Sparganiaceae

Sparganium erectum L. subsp. *neglectum* (Beeby) Schinz y Thell., Z6.

Typhaceae

Typha angustifolia L. × *T. domingensis* Pers., Z6.

Typha latifolia L., Z6.

SÍNTESIS

Se han reconocido 326 taxones con rango específico o subespecífico pertenecientes a 59 familias. De ellas 317 son espontáneas y 9 son plantadas. Las familias con mayor representación son compuestas (55), gramíneas (39), leguminosas (23) y labiadas (18).

Destaca el elevado número de taxones en relación con la superficie y la presencia de plantas poco frecuentes. Enumeramos aquellas de las que según el *Atlas de la flora de Aragón* y considerando nuestra localidad se conocen en la provincia de Huesca seis o menos citas (UTM 10 × 10 kilómetros).

- Andryala integrifolia* (6)
- Baldellia ranunculoides* (4)
- Chamaemelum nobile* (2)
- Chenopodium chenopodioides* (4)
- Euphorbia hirsuta* (5)
- Galium debile* (1)
- Galium palustre* (2)
- Gratiola officinalis* (1)
- Hypericum tomentosum* (5)
- Juncus acutiflorus* (5)
- Juncus compressus* (2)
- Juncus pygmaeus* (2)
- Lythrum tribracteatum* (5)
- Polygonum amphibium* (5)
- Pulicaria paludosa* (3)
- Ranunculus aquatilis* (4)
- Ranunculus sardous* (2)
- Ranunculus trilobus* (3)
- Schoenoplectus lacustris* (1)
- Sparganium erectum* L. subsp. *neglectum* (4)
- Trifolium lappaceum* L. (6)
- Trigonella gladiata* (6)

No se han encontrado dos especies citadas en la bibliografía. *Potamogeton lucens* L. (AYMERICH y cols. [2012]: alberja de Loreto, 1980, MARGALEF-MIR [BC 674643, 674999]), y *Carex riparia* Curtis (SESÉ [1990] atribuye a la alberca de Loreto una referencia de BUBANI [1897-1901] de localización poco precisa: “Legi in Pyr. Arag. sub Huesca, eundo ad Loreto”).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anthos (2006-2015). *Sistema de información de las plantas de España*. Real Jardín Botánico. CSIC. Fundación Biodiversidad. Madrid. www.anthos.es.
- ASCASO, J., y J. YERA (2002). Plantas de la alberca de Loreto (Huesca, España). *Lucas Mallada*, 11: 9-23.
- Atlas de la flora de Aragón* (2005-2015). Departamento de Medio Ambiente. Gobierno de Aragón. Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC). <http://www.ipe.csic.es/floragon/index.html>.
- AYMERICH, P., Z. KAPLAN, M. GUARDIOLA, A. PETIT y U. SCHWARZER (2012). *Potamogeton schweinfurthii* in the Iberian Peninsula. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 69 (2): 187-192.
- BOLÒS, O. de, J. VIGO, R. M. MASALLES y J. M. NINOT (2005). *Flora manual dels Països Catalans*. 3.^a ed. Ed. Pòrtic. Barcelona.
- BUBANI, P. (1897-1901). *Flora pyrenaea per Ordines Naturales gradatim digesta*. 4 vols. Ulricus Hoeplius. Milán.
- CASTROVIEJO, S., y cols. (eds.) (1986-2014). *Flora iberica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares*. Vols. I-VIII, X-XV, XVI (I), XVII-XVIII y XX-XXI. Real Jardín Botánico. CSIC. Madrid.
- CUCHÍ, J. A. (2005). 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.
- Decreto 204/2010, de 2 de noviembre, del Gobierno de Aragón, por el que se crea el Inventario de Humedales Singulares de Aragón y se establece su régimen de protección. *BOA*, 220: 25386-25400.
- GBIF (2011-2015). Global Biodiversity Information Facility. <http://www.gbif.org/>.
- LATORRE, J. M. (1994). Regadío y producción agraria en Huesca durante el siglo XVI. En C. Laliena (coord.), *Agua y progreso social: siete estudios sobre el regadío en Huesca, siglos XVII-XX*: 45-74. IEA. Huesca.
- Ley 42/ 2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. *BOE*, 299, de 14 de diciembre de 2007.
- SESÉ, J. A. (1990). Notas florísticas del macizo del Turbón y distribución de algunas especies en la provincia de Huesca. *Lucas Mallada*, 2: 259-303.

EL SOBREPUESTO, UN ESPACIO ESTRATÉGICO PARA LA GANADERÍA DE MONTAÑA EN LA PROVINCIA DE HUESCA

Javier SARDAÑA¹
Ramón REINÉ²

RESUMEN.— El Sobrepuesto es una zona montañosa del norte de la provincia de Huesca que quedó prácticamente despoblada a mediados del siglo pasado; sin embargo, los pastos de sus montes han continuado siendo explotados por la ganadería extensiva de las poblaciones limítrofes. En el artículo se analizan la gestión, los modos de aprovechamiento y la presión ganadera a la que están sometidos sus montes y sus pastos, puesto que se considera esta actividad vertebradora en el ámbito socioeconómico local y una pieza clave para la conservación de la riqueza medioambiental y cultural. Los resultados indican que la zona es pastada anualmente por 2626 unidades de ganado mayor (UGM) pertenecientes a 52 ganaderos que gestionan con una compleja organización un área de 13 208 hectáreas, con un 36% de pastos herbáceos. Las bajas cargas ganaderas estimadas (UGM/ha) y la falta de manejo en el pastoreo del ganado bovino mayoritario en los pastos (77% de las UGM) condicionan su mantenimiento y facilitan su matorralización.

ABSTRACT.— The Sobrepuesto is a mountainous area located in the north of Huesca (Spanish Central Pyrenees), that was practically abandoned in the middle of last century. However, its pastures continue to be grazed by

Recepción del original: 4-11-2015

¹ Ingeniero técnico agrícola especializado en explotaciones agropecuarias. C/ Cantabria, 5, 1.º D. E-22004 HUESCA. jasardpolo@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. rreine@unizar.es

extensive livestock of the neighboring villages. The purpose of this paper is to analyze the grazing management and the stocking capacity of the mountain grasslands of Sobrepuerto, because we believe that is a key activity for the social and economic development and also for the preservation of the environmental and cultural wealth of the area. Results indicated that the area is grazed annually for 2626 LU, belonging to 52 owners. They manage their cattle in a complex organization within 13 208 ha, with 36% of grasslands. The estimated carrying capacity (LU/ha) was very low. In addition, the lack of management in the grazing of cow, the most abundant in these pastures (77% of LU), limits the maintenance of pastures and allows the shrub encroachment.

KEY WORDS.— Mountain grassland, beef cattle, sheep, stocking capacity, grazing management, Huesca (Spain).

INTRODUCCIÓN

En el Pirineo central aragonés, entre las comarcas del Alto Gállego y Sobrarbe, se sitúa el Sobrepuerto, un espacio caracterizado por la elevada altura en la que se enclavan sus pueblos, unas condiciones climáticas duras muy variables y una geología que impide la retención del agua limitando su disponibilidad. Estas exigencias del medio, la demanda de mano de obra en las ciudades y la política forestal del momento, motivaron, entre los años cincuenta y setenta del pasado siglo, unos intensos flujos migratorios poblacionales, a las ciudades o a otros pueblos donde la vida era algo más fácil, que acabaron provocando la casi total despoblación de sus núcleos (LAPLANA y cols., 2005) (tabla 1). Sin embargo, en ningún caso se puede decir que este territorio quedase abandonado, ya que sus campos y montañas han continuado siendo gestionados hasta nuestros días.

Con el incremento de los procesos de despoblación en la década de los cincuenta, pueblos del Sobrepuerto como Basarán, Cillas, Ainielle, Berbusa y Casbas de Jaca fueron vendidos al Patrimonio Forestal del Estado, mientras que en otros como Otal, Escartín, Cortillas, Susín y Sasa, los antiguos vecinos lograron mantener sus propiedades. Ayerbe de Broto fue íntegramente vendido a un ganadero de la localidad de Sarvisé, y Bergua fue recuperado por algunos de sus descendientes y por nuevos habitantes llegados principalmente de la ciudad.

En 1962, el Ayuntamiento de Bergua-Basarán entró finalmente a formar parte del de Broto y en 1967 lo hizo el Ayuntamiento de Cortillas en el de

Tabla 1. Evolución de la población en los núcleos del Sorepuerto según LAPLANA y cols. (2005).

| | 1900 | 1910 | 1920 | 1930 | 1940 | 1950 | 1960 | 1970 | 1981 | 1991 | 2001 | 2004 |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Ainielle | 75 | 81 | 83 | 60 | 64 | 47 | – | – | – | – | – | – |
| Ayerbe de Broto | 82 | 91 | 87 | 84 | 81 | 73 | 45 | 6 | – | – | – | – |
| Basarán | 120 | 116 | 121 | 95 | 73 | 44 | 0 | – | – | – | – | – |
| Berbusa | 76 | 91 | 83 | 78 | 60 | 46 | – | – | – | – | – | – |
| Bergua | 190 | 205 | 207 | 183 | 158 | 155 | 96 | 3 | 2 | 13 | 40 | 42 |
| Casbas de Jaca | 60 | 45 | 49 | 43 | 32 | 23 | – | – | – | – | – | – |
| Cillas | 120 | 126 | 138 | 142 | 100 | 81 | 49 | – | – | – | – | – |
| Cortillas | 203 | 225 | 193 | 153 | 128 | 91 | 75 | – | – | – | – | – |
| Escartín | 128 | 137 | 97 | 61 | 46 | 48 | 26 | 2 | – | – | – | – |
| Otal | 99 | 89 | 94 | 85 | 85 | 82 | 48 | 4 | – | – | – | – |
| Sasa | 64 | 63 | 63 | 54 | 43 | 28 | 29 | – | – | – | – | – |
| Susín | – | – | 24 | 21 | 7 | 8 | 13 | – | – | – | – | – |
| <i>Total</i> | <i>1217</i> | <i>1269</i> | <i>1239</i> | <i>1059</i> | <i>877</i> | <i>726</i> | <i>381</i> | <i>15</i> | <i>2</i> | <i>13</i> | <i>40</i> | <i>42</i> |

Yebra de Basa. En 1970, el Ayuntamiento de Oliván se repartió entre el de Biescas y el de Sabiñánigo, formando desde entonces Susín y Casbas de Jaca parte del municipio de Biescas. También en ese mismo año el Ayuntamiento de Barbenuta entró a formar parte del de Biescas, y con él, los pueblos de Berbusa y Ainielle (LAPLANA y cols., 2005).

Tras esta nueva reorganización, las tierras quedaron a disposición de muchos ganaderos de los pueblos vecinos y de antiguos nativos que se instalaron cerca de sus haciendas continuando así con la actividad pecuaria. Bien en propiedad o bien en arriendo, este espacio ha continuado siendo aprovechado principalmente como zona de pastoreo extensivo y en los últimos años también como espacio para la actividad cinegética (SARDAÑA, 2012).

En la actualidad, los ganaderos arriendan a la Comunidad Autónoma de Aragón (CAA) los campos y montes de Basarán, Cillas, Ainielle, Berbusa y Casbas de Jaca. La CAA es la actual titular tras haber recibido la competencia exclusiva en materia de “montes, aprovechamientos y servicios forestales, vías pecuarias, pastos y espacios naturales protegidos” por parte del Estado. Los campos y montes privados de Otal, Escartín, Cortillas, Sasa y Susín son arrendados por sus vecinos, los legítimos propietarios. El pueblo de Oto —que

pertenece al municipio de Broto— ya era propietario de la pardina Niablas mucho antes de ese proceso de despoblación, conservando hoy día sus ganaderos el uso de este espacio. Los pastos situados en la pardina de La Isuala son de propiedad particular y pertenecen a vecinos de Escartín. Por otra parte, los montes públicos de cada pueblo dependen de los Ayuntamientos actuales, y para su aprovechamiento, los ganaderos deben arrendarlos a los Ayuntamientos de Broto, Biescas y Yebra de Basa, respectivamente. De los derechos de pasto que pudieron llegar a tener los habitantes del Sobrepuerto en las montañas de la Mancomunidad del Valle de Broto o de las zonas donde se solían localizar sus animales, tan solo quedan hoy día nombres toponímicos tales como *Faja Basarán* o el llamado *Monte de Bergua*, entre otros. A día de hoy, todos estos montes siguen siendo gestionados por dicha Mancomunidad y son utilizados por los ganaderos del valle de Broto (SARDAÑA, 2009).

Más allá de la importancia económica que tiene el aprovechamiento de estos pastos como recurso alimenticio para las explotaciones ganaderas extensivas, está ampliamente reconocido su valor ecológico y social. De hecho, una gran parte de los pastos del Sobrepuerto están incluidos en la Directiva Hábitat (COMISIÓN EUROPEA, 1992), y junto con otros hábitats conforman dos Lugares de Importancia Comunitaria (LIC) de la Red Natura 2000 aragonesa. Pero, además, nadie duda de otros valores que se relacionan con su capacidad para hacer viables social y económicamente las áreas rurales, con la conservación del patrimonio cultural, y con beneficios económicos potenciales distintos de los tradicionales, dependientes muchas veces de los servicios aportados por los ecosistemas a la sociedad en general.

A este conjunto de bienes económicos, ecológicos y sociales se ha dado en llamar multifuncionalidad. La explotación de los pastos permite: el mantenimiento de una biodiversidad vegetal y animal (no solo fauna salvaje, sino también conservación de razas ganaderas autóctonas); la prevención de incendios (disminución de la proporción de vegetación combustible); la regulación del ciclo hidrológico (prevención de inundaciones, disminución de la escorrentía, aumento de la infiltración y recarga de acuíferos); el secuestro de carbono en suelos (por ejemplo, los pastos herbáceos almacenan más de un 10% del carbono total de la biosfera, del que un 90% es secuestrado en los suelos); la creación y conservación de paisajes (paisajes en mosaico, paisajes abiertos); la estabilización del suelo (contribución a la prevención de la erosión);

la purificación del agua; la producción de alimentos de calidad para la ganadería; el bienestar animal; la producción de alimentos de calidad para la alimentación humana; el mantenimiento de la población en áreas rurales, muchas de ellas desfavorecidas; la herencia cultural (tradición, folclore, construcciones tradicionales, paisaje), etcétera (REINÉ y cols., 2009). Estas prestaciones dan soporte a una amplia diversificación de actividades en el medio rural, generando beneficios económicos y oportunidades de negocio que por ejemplo en el Sobrepuesto ya se desarrollan en torno a la caza y el turismo.

Sin embargo, los pastos bien mantenidos están hoy en día en retroceso en todo Europa, debido fundamentalmente a cambios en los usos del suelo, que conducen o bien a la intensificación, o bien al abandono (STRIJKER, 2005). Ambos procesos tienen graves implicaciones sobre la sostenibilidad de los sistemas ganaderos y sobre las funciones aportadas por estos agroecosistemas. La hierba compuesta por hemicriptófitos rebrotantes está perfectamente adaptada a la defoliación de los herbívoros y ha coevolucionado con ellos, es decir, el ganado correctamente manejado, crea y mantiene su propio pasto (MONTSERRAT, 2009). Cuando el ganado deja de subir a los puertos por su abandono, el pasto se embastece y evoluciona a otras comunidades vegetales con mayor presencia de caméfitos, perdiéndose un recurso energético estratégico difícil de recuperar como es la hierba. En el otro extremo, cuando el pasto no es manejado con las cargas adecuadas y se produce su sobreexplotación, la hierba se degrada o cambia su composición florística a especies nitrófilas no seleccionadas por el animal en el pastoreo.

Situaciones como la mencionada ya han sido descritas en otras zonas próximas de alto valor natural, como el vecino valle de la Garcipollera, donde CASASÚS y cols. (2007), estudiando el efecto del pastoreo de bovino sobre la vegetación, constataron la existencia de áreas de pasto sobrepastoreadas con suelo compactado por pisoteo y alta nitrofilia por acúmulo de deyecciones, mientras que en otras que eran aprovechadas con escasas cargas ganaderas, proliferaban especies arbustivas y el embastecimiento de la vegetación herbácea era considerable.

Por todo ello el objetivo básico de este artículo es el de dar a conocer el Sobrepuesto como un territorio activo, deshabitado pero no abandonado. Y, en segundo lugar, puesto que la explotación de sus pastos es la actividad vertebradora en el ámbito socioeconómico local y una pieza clave para la

conservación de la riqueza medioambiental y cultural presentes, pretendemos analizar la gestión, los modos de aprovechamiento y la presión ganadera a la que están sometidos sus montes y sus pastos.

Este estudio se ha realizado a partir de la memoria titulada *Bases para una gestión agrosilvopastoral del Sobrepuerto* (SARDAÑA, 2012) donde se amplían los contenidos presentados en esta publicación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Localización

Centrado en la cordillera de los Pirineos aragoneses, el Sobrepuerto se sitúa a caballo entre las montañas pirenaicas y prepirenaicas y los ríos Ara y Gállego. Dividido administrativamente por las comarcas del Alto Gállego y Sobrarbe, sus pueblos y pardinias se localizan en el municipio de Broto, donde se encuentran los pueblos de Otal, Escartín, Basarán y las pardinias de La Isuala y Niablas, y en el municipio de Yebra de Basa, donde están Cortillas, Cillas y Sasa. Por cercanía y similitud, a estos núcleos siempre se les ha añadido Ainielle, en el municipio de Biescas, y Ayerbe de Broto y Bergua, en el término de Broto. Por otra parte, e incluidas para el presente artículo, las vertientes del Oturia se reparten por los municipios de Biescas, Sabiñánigo y Yebra de Basa, donde se encuentran los pueblos de Berbusa, Casbas de Jaca, Susín y la pardina Isábal, dentro del término de Biescas, y la pardina Fenés y el santuario de Santa Orosia, dentro del de Yebra de Basa (RED NATURAL DE ARAGÓN, 2008).

La extensión del espacio estudiado ha quedado delimitada a partir del concepto que tienen los ganaderos encuestados sobre el *Sobrepuerto*, algo difícil de establecer, ya que este término no hace referencia a una unidad geopolítica concreta, sino a un topónimo que, según SATUÉ (1979), apenas lo empleaban los habitantes que vivían en la zona.

Medio físico

Este espacio se encuentra entre las sierras interiores ricas en materiales calizos y las depresiones intermedias pirenaicas: presenta un suelo formado por capas de margas y areniscas propias de las turbiditas del Eoceno, que se extienden hacia el sur hasta los conglomerados de Santa Orosia

(SATUÉ, 1979). Estas formas de relieve suave de los materiales turbidíticos presentan sus máximas cotas en los 2003 metros del monte Erata, los 2007 metros del Pelopín o los 2033 metros del Manchoya en la zona norte y al sur, son los 1921 metros del monte Oturia, los que marcan la transición a los conglomerados oligocénicos que originan unos relieves más vigorosos que cierran este territorio meridionalmente.

El área está atravesada por los barrancos de Otal y de La Valle, que a su vez confluyen formando el barranco Forcos y vertiendo, finalmente, sus aguas al río Ara (SATUÉ, 1997) y por el barranco de Oliván, que desemboca en el río Gállego. A estos barrancos hay que añadir todos los torrentes que nacen en las laderas del monte Oturia y que, o bien vierten al río Basa, o bien lo hacen directamente en el río Gállego.

Climatología

En la tabla II figuran los principales parámetros climáticos de cuatro núcleos de población del Sobrepuesto según el *Atlas climático digital de Aragón* (2012), elegidos por representar los límites norte (Otal), sur (Sasa), oeste (Casbas de Jaca) y este (Ayerbe de Broto) de la zona de estudio.

Tabla II. Datos climáticos de Otal, Sasa, Casbas de Jaca y Ayerbe de Broto (O = otoño, I = invierno, P = primavera, V = verano) (*Atlas climático digital de Aragón*, 2012).

| | <i>Otal</i> | <i>Sasa</i> | <i>Casbas</i> | <i>Ayerbe</i> |
|--|-------------|-------------|---------------|---------------|
| Altitud (m) | 1465 | 1230 | 1193 | 1187 |
| <i>Maximo maximorum</i> (°C) | 39,9 | 39,9 | 39,5 | 39,8 |
| <i>Minimo minimorum</i> (°C) | -16,9 | -16,2 | -17,2 | -16,2 |
| Temperatura media anual (°C) | 8,2 | 9,2 | 9,7 | 10 |
| Temperatura media primavera (°C) | 5,4 | 7,2 | 8,0 | 8,1 |
| Temperatura media verano (°C) | 16,3 | 17,4 | 18,2 | 18,2 |
| Temperatura media otoño (°C) | 9,2 | 10,2 | 10,5 | 10,9 |
| Temperatura media invierno (°C) | 1,8 | 2 | 2,2 | 2,9 |
| Días de heladas | 107 | 101 | 110 | 99 |
| Precipitación media anual (mm) | 1199 | 1027 | 1006 | 1059 |
| Evapotranspiración potencial (mm) | 932 | 833 | 965 | 1098 |
| Días de precipitación | 97 | 90 | 97 | 93 |
| Distribución de la precipitación <i>Musset</i> | OPIV | OPIV | OIPV | OIPV |

Se puede determinar la zona como de tipo mediterráneo-continental, con una elevada insolación, oscilaciones térmicas diurnas y estacionales acusadas. El régimen de precipitaciones presenta máximos equinociales y torrencialidad sobre todo estival, como características climáticas destacables. La precipitación media anual por encima de los 1000 milímetros indica la transición hacia la región corológica eurosiberiana. Además, en las zonas más altas las precipitaciones sólidas pueden cubrir de nieve las montañas de diciembre a marzo.

Vegetación

La vegetación del Sobrepuerto se encuentra en la zona de transición de la región corológica eurosiberiana y la mediterránea. En el piso montano se establecen los carrascales con boj de la serie *Helleboro foetidi* – *Querceto rutundifoliae* (RIVAS MARTÍNEZ, 1987), los bosques mixtos y quejigares submediterráneos *Buxo sempervirentis* – *Quercetum pubescentis* (RIVAS MARTÍNEZ, 1987) y los pinares de pino silvestre de la serie *Echinosparto horridi* – *Pineto sylvestris* (RIVAS MARTÍNEZ, 1987). Por encima de estos últimos, en suelos más profundos y mayor pluviometría, se desarrolla la serie altimontana del abeto *Festuco altissimae* – *Abietetum albae* (RIVAS MARTÍNEZ, 1987), y en condiciones similares de altitud, con suelos profundos y carbonatados aparecen los hayedos de la serie *Buxo* – *Frageto* (RIVAS MARTÍNEZ, 1987).

En el piso subalpino, a partir de los 1600 metros es donde se encuentra el *Pinus uncinata*, a veces hibridado con *Pinus sylvestris*; y por encima se desarrollan las comunidades herbáceas, fundamentalmente de la alianza *Bromion erecti* que conforman los pastos de puerto. En las zonas de menor presión ganadera aparecen los matorrales almohadillados con boj (*Buxus sempervirens*) y con erizón (*Echinospartum horridum*) que se convierte en dominante en las laderas más soleadas.

La alta diversidad florística de las comunidades de pasto del *Bromion erecti* hace que estén incluidos en la Directiva Hábitat (COMISIÓN EUROPEA, 1992) dentro del grupo 6210 “Prados secos seminaturales y facies de matorral sobre sustratos calcáreos (*Festuco-Brometalia*)” (YERA y cols., 2009). Si a esto añadimos el hecho de que se trata de uno de los tipos de pasto más

productivo de la península ibérica (SAN MIGUEL, 2001), queda patente el interés pascícola del área de estudio.

Usos del territorio

Los usos principales que se dan en el Sobrepuesto son, sobre todo, de dos tipos: ganadero y cinegético. El ganadero se prolonga durante unos seis meses, según las zonas, desde finales de la primavera hasta finales de otoño, dependiendo de la climatología del año, que condiciona la cantidad de pasto disponible. El uso cinegético por el contrario es una actividad de invierno, aunque se inicia entrado el otoño, por lo que se complementa perfectamente con el anterior. Consiste en la caza mayor del jabalí, cuyas poblaciones están en continua expansión y originan daños con sus hozaduras en los pastos herbáceos. La única posible afección negativa que apunta SARDAÑA (2012) de la caza sobre la ganadería extensiva, la originarían los perros perdidos en las batidas, que, al agruparse asilvestrados, pueden causar daños por ataque al ganado durante la estación de pastoreo.

Actuales figuras de protección

Parte del área de estudio pertenece a la Red Natura 2000 de Aragón, más concretamente a dos LIC (“LIC ES24100045 Sobrepuesto”, con 3469 hectáreas de protección, y “LIC ES24100044 Puerto de Otal – Cotefablo”, con 1964 hectáreas protegidas) y a una Zona Especial de Protección para las Aves (ZEPA ES0000286 Sierra de Canciás – Silves), de 7810,43 hectáreas.

Asociaciones culturales y vecinales del entorno llevan tiempo abogando por la creación de un Paisaje Protegido en la zona. Esta categoría de protección se aplica a aquellos lugares del medio natural que por sus valores estéticos y culturales son merecedores de una protección especial. La declaración de estos espacios se efectúa por decreto del Gobierno de Aragón y las directrices de actuación, para asegurar que las actividades que realizar en la zona no alteren los valores a proteger, se recogen en un Plan Protector. En el año 2008 se redactó un proyecto de declaración del “Paisaje Protegido de Santa Orosia-Sobrepuesto” (RED NATURAL DE ARAGÓN, 2008) que hasta la fecha no ha sido aprobado. En la memoria justificativa para la creación de este espacio se especifica que “se favorecerá el uso ganadero actual,

fomentando el régimen extensivo mediante la recuperación de pastos tradicionales y potenciando el papel del ganado como factor de control del combustible forestal”.

Obtención de la información

La información sobre el aprovechamiento de los pastos del Sobrepuerto fue obtenida durante el año 2012 mediante encuestas directas a los ganaderos. Para ello se confeccionó un cuestionario de elaboración propia, estructurado en varios apartados que se completó en las entrevistas realizadas con los ganaderos, en la mayoría de los casos, en sus explotaciones base, cuando los animales no estaban en el puerto.

La encuesta puede definirse como una búsqueda metódica de información por medio de preguntas y testimonios, y es una metodología ampliamente utilizada en las explotaciones agrarias (OLAIZOLA y GIBON, 1997). Normalmente se suele realizar sobre una muestra representativa de la población objeto de análisis, pero en este caso consideramos necesario realizarla sobre la totalidad de los ganaderos.

Conviene indicar que en ocasiones la encuesta no es una fuente precisa de conocimiento, pues no aporta siempre la misma calidad de información, ya que viene seguramente sesgada por la subjetividad, predisposición y capacidad tanto del encuestador como del encuestado. Por ello, la información recopilada siguiendo las recomendaciones de DEFFONTAINES y PETIT (1985) fue interpretada, criticada y contrastada siempre que fue posible con otro tipo de fuentes.

Estimación de las cargas ganaderas

Carga ganadera es la cantidad de ganado que sustenta una comunidad pascícola durante un tiempo determinado. Se expresa en unidades de ganado mayor (UGM) por hectárea y año, entendiéndose por UGM la vaca de carne vacía de 500 kilos de peso vivo (SAN MIGUEL, 2001). Por lo tanto, para homogeneizar los datos ganaderos obtenidos en las encuestas, se transformaron las cabezas de los distintos tipos de ganado a UGM de acuerdo con las siguientes equivalencias que marca la Administración (BOA, 2009):

1 vacuno = 1 UGM

1 equino = 0,9 UGM

1 ovino = 1 caprino = 0,15 UGM

Para superficiar los pastos disponibles se procedió, en primer lugar, a la fotointerpretación de las ortofotografías digitales del área de estudio, disponibles en el visor SIOSE del Gobierno de Aragón (SIOSE, 2011). Para la correcta diferenciación de las zonas de matorral y de pasto se realizaron las oportunas comprobaciones sobre el terreno. Una vez diferenciadas las zonas de pastos, se calcularon sus superficies mediante la herramienta desarrollada para tal fin en el visor SIOSE.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aprovechamiento de los pastos

La actividad ganadera del Sobrepuesto no es homogénea y varía mucho según la localización y el tipo de monte, su propiedad y su manejo individual o entre varios ganaderos. Tratando de organizar estos aspectos, detallamos a continuación los datos más relevantes de la actividad ganadera y del aprovechamiento de estos pastos según los municipios de ubicación de las explotaciones base (en caso de encontrarse alrededor del Sobrepuesto) o según las comarcas de donde proceden para el resto. Esto se expresa gráficamente en la figura 1.

• *Municipio de Broto*

Con trece ganaderos (un 25% del total) y 768,67 UGM (un 30% del total), este municipio es el que mayor aporte ganadero realiza en el Sobrepuesto, principalmente de ganado bovino, que además viene a ser el 34% de todo el vacuno presente en el territorio. Los ganaderos provienen de los núcleos de Oto y Sarvisé y se desplazan a los pastos del Sobrepuesto a pie. El análisis de cada una de las dos poblaciones es el siguiente:

- Ganaderos de Oto. Suman un total de seis y todos ellos poseen ganado vacuno, excepto uno que además conduce algo de caprino. Los rebaños de vacuno pastan en la pardina Niablas (que pertenece al pueblo de Oto), en los montes públicos de Otal, Yosa, Basarán y en antiguas fincas de Otal, Basarán y Ainielle (arrendados al Ayuntamiento

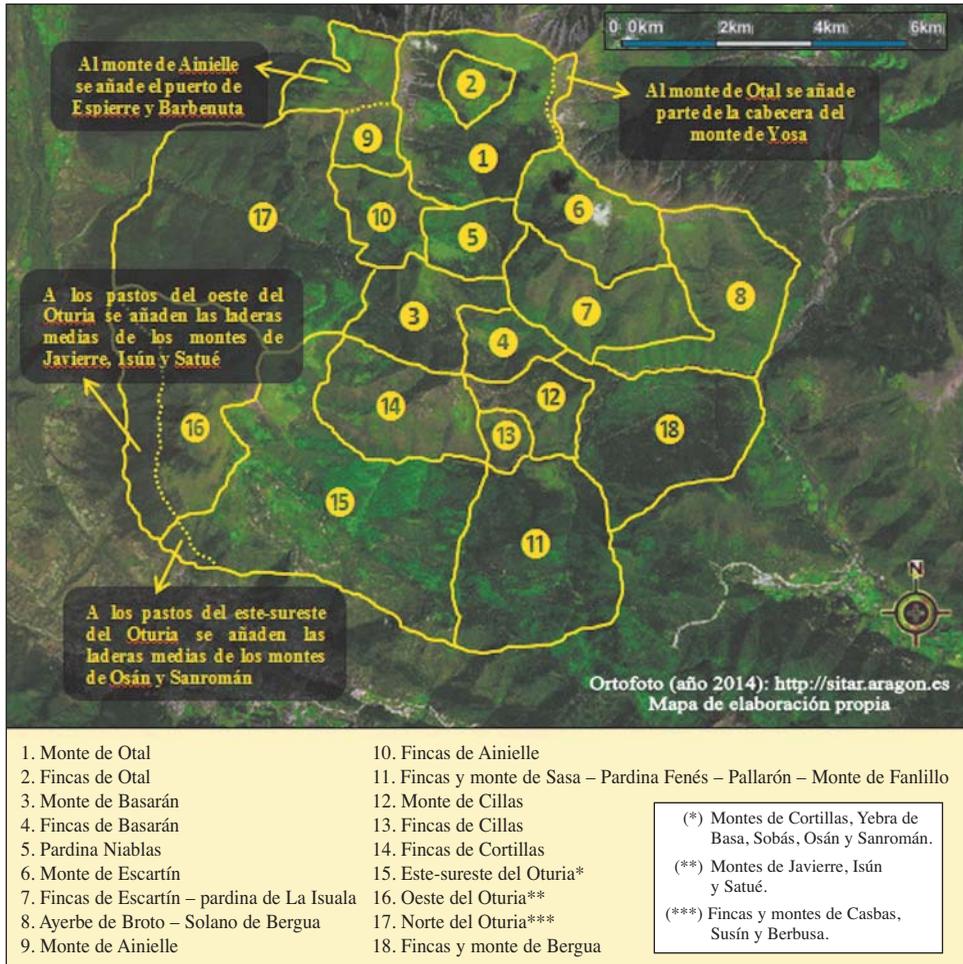


Fig. 1. Divisiones ganaderas en los pastos del Sobrepuerto.

de Broto y al Gobierno de Aragón, respectivamente). Además, existe un vecino descendiente del núcleo de Escartín con derecho sobre la novena parte de los montes vecinales de este lugar y que, además de poseer fincas, arrienda algunas más a antiguos vecinos de este pueblo (en los pastos de Escartín se incluyen los situados en la pardina de La Isuala).

Estos ganaderos conducen su ganado a primeros de mayo manteniéndolo en el Sobrepuerto hasta mediados de julio. Después, llevan

sus animales a los puertos de verano sobre los que tienen derecho como *vico* de la Mancomunidad del Valle de Broto en el valle de Bujaruelo. En este valle se denomina *vico* a una antigua unidad de gestión constituida por los ganaderos de varios pueblos y concedida para aprovechar de forma ordenada y rotacional los pastos de puerto comunales. Existen cuatro vicos: uno lo constituye el pueblo de Torla; otro lo forman Linás de Broto, Viu de Linás y Fragen; Broto, Buesa y Asín de Broto forman el tercero; y, finalmente, Oto, Sarvisé y los núcleos hoy deshabitados de Yosa y Escartín el cuarto. Por otra parte, hay cuatro grandes unidades de pastos comunales: Otal Alto, Otal Bajo, Ordiso y Sandaruelo. Por consiguiente, un determinado vico vuelve a repetir el pastoreo en el mismo puerto cada cuatro años.

Otros pastos de verano a los que pueden conducir sus rebaños estos ganaderos son los montes de la vertiente francesa de la facería con el valle de Barèges, según el año que les corresponde. Una facería es un acuerdo para el disfrute compartido de los pastos entre algunos municipios fronterizos de España y Francia. En este caso, los derechos que el municipio de Broto tiene sobre algunos pastos del valle de Barèges están documentados desde 1390, se revisaron en el Tratado de Bayona de 1862 y se limitaron a cuatro montes fronterizos en 1954 (RAZQUIN y cols., 2012).

Para la *sanmigalada* (en torno a la festividad de San Miguel del 29 de septiembre) los rebaños regresan de sus pastos de verano y son reconducidos de nuevo al Sobrepuesto para permanecer desde octubre hasta mediados de diciembre, aunque esta fecha varía según la llegada de las primeras nevadas intensas. Los rebaños de cabras que acceden desde este pueblo pastan en torno al monte Gávalo. De todos modos, este tipo de ganadería es minoritaria en la zona.

- Ganaderos de Sarvisé. En total son siete ganaderos y todos ellos poseen ganado vacuno. Sin embargo, hay que señalar que uno de ellos posee además ganado ovino y otro ganado equino.

Tres de estos ganaderos son propietarios de Ayerbe de Broto y de fincas en Escartín gestionando de forma conjunta sus explotaciones. Conducen sus rebaños al monte El Quejigar de Ayerbe (en

propiedad) y a algunos campos privados de Escartín, al monte público de Otal y al Solano de Bergua (que arriendan a particulares y al Ayuntamiento de Broto). Durante todo el año se puede encontrar ganado en todo este entorno, si bien en los meses de invierno parte del ganado vacuno se reparte entre los campos de Ayerbe de Broto y un monte que tienen arrendado en el valle de La Fueva. Por otra parte, cabe destacar que la cabaña equina y ovina nombrada anteriormente pertenece a este grupo de ganaderos. En este sentido, hay que señalar que algunas de las yeguas son desplazadas al pueblo de Sarvisé durante el verano para uso turístico y las ovejas son retiradas durante el invierno para ser estabuladas en el núcleo vecino de Asín de Broto.

Los otros dos ganaderos arriendan el monte público en Otal al Ayuntamiento de Broto. Los rebaños permanecen desde mediados de mayo hasta mediados de julio, momento en el que los animales son conducidos, al igual que los de Oto, a los pastos de la Mancomunidad del Valle de Broto sobre los que tienen derecho, aunque en este caso, en otoño ya no regresan al Sobrepuerto.

Por último, los dos ganaderos de Sarvisé conducen sus rebaños al monte de Escartín (incluyendo La Isuala). Uno de ellos arrienda además fincas privadas en este mismo pueblo. Los animales permanecen desde fin de mayo hasta primeros de noviembre, quedando todo el periodo estival en el Sobrepuerto.

- *Municipio de Fiscal*

De los ganaderos que utilizan el Sobrepuerto, siete son de este municipio (13% del total) y lo hacen con 471 UGM (18% del total). Proceden de los núcleos de Fiscal, Arresa, Borrastré y Ligüerre de Ara. Su cabaña ganadera está formada exclusivamente por vacuno, suponiendo el 23% de este tipo de ganado en el Sobrepuerto y, en general, continúan ascendiendo a pie con sus rebaños. Su aprovechamiento de los puertos es el siguiente:

- Ganadero de Arresa. Conduce su rebaño a Escartín y a la pardina de La Isuala, donde arrienda fincas y monte vecinal a sus particulares,

- y monte público al Ayuntamiento de Broto. Los animales se mantienen en esta zona desde mediados de junio a mediados de noviembre.
- Ganaderos de Borrastre. En este núcleo encontramos dos ganaderos. Uno de ellos desciende de Escartín y posee fincas y derecho de pasto en la novena parte del monte vecinal. De esta forma, este ganadero conduce sus animales a estos pastos donde permanecerán desde finales de mayo hasta noviembre. El otro ganadero de Borrastre se dirige a la pardina Fenés, al monte de Fanlillo y al monte público de Sasa, que arrienda al Ayuntamiento de Yebra de Basa, permaneciendo desde junio a noviembre.
 - Ganaderos de Fiscal. De los dos ganaderos de este núcleo, el primero lleva sus animales de Escartín a La Isuala, arrendando fincas particulares y el monte público al Ayuntamiento de Broto. Su rebaño asciende a finales de mayo y regresa cuando las nevadas le obligan, ya en el mes de diciembre. El segundo conduce sus animales a la pardina Fenés y al monte público de Sasa (que arrienda al Ayuntamiento de Yebra de Basa). A estos pastos hay que añadir también monte que posee en propiedad (pardina Viñuales) y fincas arrendadas a particulares en Sasa y Cortillas, al Gobierno de Aragón en Cillas y el monte Pallarón al Ayuntamiento de Yebra. Su rebaño se mantiene en el Sobrepuesto desde finales de mayo hasta diciembre.
 - Ganaderos de Ligüerre de Ara. Se trata de dos ganaderos, uno arrienda monte vecinal y público en Escartín (se incluye La Isuala) a sus particulares y al Ayuntamiento de Broto, respectivamente, permaneciendo sus animales desde finales de mayo hasta noviembre; y en el otro caso, el ganadero arrienda monte en el Oturia (a lo que llama el monte de Cortillas) al Ayuntamiento de Yebra de Basa. Su rebaño permanece en este monte desde julio hasta mediados de octubre.

• *Municipio de Biescas*

De este municipio son diez los ganaderos (19% del total) que ascienden al Sobrepuesto con un total de 355 UGM (14% del total). Este ganado es principalmente vacuno (supone el 91% de su cabaña ganadera y el 16% de las vacas que hay en el Sobrepuesto). Los ganaderos son de

Biescas, Orós Alto, Oliván y Javierre del Obispo, y conducen sus animales a pie hasta llegar a los pastos. Su organización es la siguiente:

- Ganaderos de Javierre del Obispo. Son dos explotaciones que trabajan con el ovino y llevan sus animales a campos que poseen en el monte de Javierre y al puerto de este mismo pueblo. La zona a pastar se extiende desde la pardina y el monte de Ipe hasta el *Paco* y la Peña Foricón de Santa Orosia. Los ganaderos mantienen los rebaños desde finales de junio hasta finales de septiembre. En este núcleo existe la cabaña más importante de caprino, aunque se trata solo de 38 cabezas, por lo que su impacto no es destacable.
- Ganaderos de Orós Alto. Todos están especializados en ganado vacuno. Tres de ellos dirigen sus rebaños hacia el puerto de Ainielle (pastos del Gobierno de Aragón) y la ladera oeste del monte Erata que desciende hacia los núcleos de Barbenuta y Espierre (pastos del Ayuntamiento de Biescas) donde uno de ellos arrienda campos a particulares. Además, este último ganadero también utiliza monte que pertenece a Orós Alto. Estos tres ganaderos mantienen los animales desde principios de junio hasta finales de noviembre. Como veremos más adelante, a estos pastos de Ainielle y del monte Erata también sube otro ganadero procedente de Oliván (municipio de Biescas), uno de Aurín (municipio de Sabiñánigo) y otro de San Lorenzo de Flumen (municipio de Lalueza – Comarca de Monegros). Por otra parte, un cuarto ganadero de Orós Alto arrienda monte en el puerto de Santa Orosia al Ayuntamiento de Yebra de Basa, donde retiene los animales desde mediados de junio a mediados de octubre.
- Ganaderos de Oliván. Al igual que los dos anteriores, todos trabajan solo la ganadería bovina. Uno de ellos conduce su rebaño a Escartín. Es descendiente de ese pueblo y posee un importante número de fincas y el derecho de pasto en la novena parte del monte vecinal. Además, también arrienda monte público en Otal al Ayuntamiento de Broto. Este rebaño permanece en el Sobrepuerto desde finales de mayo hasta mediados de noviembre. Otro de los ganaderos arrienda fincas particulares en Cortillas y monte público de este mismo pueblo al Ayuntamiento de Yebra de Basa, donde permanecen los animales desde finales de mayo hasta la llegada de las primeras nevadas

fuertes en diciembre. Finalmente, un tercer ganadero conduce sus animales al puerto de Ainielle y la ladera oeste del monte Erata, propiedad del Gobierno de Aragón y del Ayuntamiento de Biescas, respectivamente, desde junio a octubre.

- Ganadero de Biescas. Este único ganadero de vacuno obtiene el pasto mediante arriendo de fincas a particulares en Susín y del pago por el uso de los pastos de Casbas de Jaca y Berbusa, así como la ladera norte del Oturia y la pardina Isábal al Gobierno de Aragón. Este ganadero mantiene sus animales en esta zona desde mediados de mayo hasta mediados de noviembre.

- *Municipio de Yebra de Basa*

Seis son los ganaderos que procedentes de este municipio ascienden al Sobrepuesto (12% del total) y su cabaña ganadera es de 155,5 UGM (6% del total). Aunque la ganadería vacuna es la mayoritaria (72% de su cabaña), la ganadería ovina está presente en cuatro explotaciones, representando un 9% del total que podemos encontrar en el Sobrepuesto al que, por otra parte, acuden a pie. Sus animales permanecen en estos pastos desde mediados de junio hasta septiembre inclusive. Estos ganaderos tienen sus explotaciones en dos núcleos de población: Sobás y Yebra de Basa.

- Ganaderos de Sobás. Son dos con explotaciones de ganado ovino. Manejan sus rebaños hacia el monte que posee este mismo pueblo y hacia la ladera sur del Oturia (laderas de Santa Orosia) que arriendan al Ayuntamiento de Yebra de Basa, así como de los montes de Osán y Sanromán, en el municipio de Sabiñánigo.
- Ganaderos de Yebra de Basa. Se trata de cuatro ganaderos. Dos ganaderos que trabajan exclusivamente con vacuno y otros dos que también poseen ovino. En lo que a los rebaños de vacuno se refiere, los cuatro ganaderos emplean los pastos del monte Oturia que pertenecen a los pueblos de Yebra y de Cortillas (que arriendan al Ayuntamiento de Yebra de Basa). En lo que se refiere al ovino, el ganado se maneja de forma conjunta con los ganaderos de Sobás, con los de otros núcleos del municipio de Sabiñánigo (Osán, Senegüé y Sorripas)

y con otro de Lalueza (Comarca de Monegros), conduciéndolo a los montes de Santa Orosia (que pertenece a su pueblo) y a los montes de Sobás, Osán y Sanromán.

• *Municipio de Sabiñánigo*

Con un total de ocho ganaderos (15% del total), se dividen entre los núcleos de Osán, Sardas, Aurín, Sabiñánigo Alto, Senegüé, Sorripas y Lárrede. Conducen a estas montañas 289,25 UGM suponiendo el 11% del ganado total. Las explotaciones de este municipio son principalmente de ovino (ya que suponen el 76% de su cabaña ganadera) y representan al 48% de toda esta ganadería presente en el Sobrepuerto.

- Ganaderos de Aurín. Son dos ganaderos de vacuno. A pesar de ser del mismo pueblo manejan los animales por separado. Uno de los ganaderos conduce su rebaño al monte de Cortillas (que arrienda al Ayuntamiento de Yebra de Basa) y permanece en él desde mediados de junio a finales de septiembre. En el otro caso, lleva su rebaño al puerto de Ainielle (arrendado al Gobierno de Aragón), al monte de la ladera oeste del Erata (del Ayuntamiento de Biescas) y a fincas propias situadas en los núcleos de Barbenuta y Espierre. Este último ganadero mantiene el rebaño en esas zonas desde junio hasta principios de diciembre. Y en ambos casos utilizan el transporte rodado para trasladar sus animales.
- Ganaderos de Osán, Senegüé y Sorripas. En cada uno de estos pueblos hay una explotación de ovino que sube al Sobrepuerto, permaneciendo desde mediados de junio hasta finales de septiembre. Este grupo maneja sus rebaños de forma conjunta con los de Yebra de Basa, Sobás y Lalueza, conduciendo sus rebaños por cabañera a los montes de Santa Orosia y de Sobás (que arriendan al Ayuntamiento de Yebra de Basa) y de Osán y Sanromán (en el municipio de Sabiñánigo).
- Ganaderos de Sardas, Lárrede y Sabiñánigo Alto. Son tres ganaderos de ovino que aportan el 31% de esta cabaña ganadera. Sus rebaños acuden en cabañera a la ladera oeste del Oturia junto con los del municipio de Caldearenas donde, a su vez, se juntan con el ganado procedente de Javierre del Obispo llegando a sumar el 66% del total

del ovino en el Sobrepuesto. Los pastos los obtienen del arriendo de fincas a particulares y del arriendo de los puertos de Javierre, así como de los montes de Isún y Satué, en los que mantienen los animales desde mediados de junio hasta finales de septiembre.

- *Resto del Sobrarbe*

Hay un ganadero de vacuno procedente de Guaso (municipio de Aínsa) cuya familia descende de Otal. Conduce su rebaño a este pueblo trasladándolo por medio de camiones hasta el puerto de Cotefablo e introduce 130 UGM al Sobrepuesto siendo un 5% del total. Posee fincas en propiedad y una novena parte del monte vecinal. También arrienda un gran número de campos a sus legítimos propietarios, las 7/9 partes del monte vecinal y monte público de Otal al Ayuntamiento de Broto. Sus animales permanecen en la zona desde mediados de junio hasta finales de noviembre.

- *Resto del Alto Gállego*

Son tres ganaderos de ovino repartidos entre Caldearenas, Aquilué y Javierrelatre (municipio de Caldearenas). Juntos suman 133,75 UGM (el 5% del total), aunque representan el 29% de la cabaña de ovino que sube al Sobrepuesto. Permanecen desde mediados de junio hasta finales de septiembre. Como ya se ha comentado anteriormente, estos rebaños se van juntando mientras suben en cabañera con los de Sabiñánigo Alto, Sardas y Lárrede, hasta llegar a la ladera oeste del Oturia donde se unen a los rebaños de Javierre del Obispo. Sus pastos lo forman fincas particulares arrendadas, así como los puertos también arrendados de Javierre, Isún y Satué.

- *Comarca de la Hoya de Huesca*

En el municipio de Huesca encontramos una explotación de vacuno propiedad de un descendiente del pueblo de Cortillas que, con 55 UGM, supone el 2% del ganado total. Este ganadero transporta por carretera sus animales hasta las fincas que posee en este núcleo. También posee

el monte La Pardina y arrienda más fincas privadas en Costillas y monte público en Cillas al Gobierno de Aragón, permaneciendo el ganado en la zona desde principios de junio hasta finales de noviembre.

• *Comarca de Monegros*

Desde esta comarca de la tierra baja tres explotaciones conducen sus rebaños al Sobrepuerto, todos ellos con ayuda de transporte rodado. Dos se localizan en Lalueza y San Lorenzo de Flumen (municipio de Lalueza) y la otra en Orillena (municipio de Lanaja). Con un aporte de 233,125 UGM suponen el 9% de la cabaña ganadera total y sus animales se reparten de la siguiente manera:

- Ganadero de Lalueza. Posee una explotación tanto de vacuno como de ovino. Los rebaños los maneja de forma conjunta con los ganaderos de Yebra de Basa, Sobás, Osán, Senegüé y Sorripas, conduciendo a sus animales a los montes de Cortillas (para el caso del vacuno) y a los montes de Santa Orosia, Sobás, Osán y Sanromán (para el caso del ovino), moviéndolos junto a ellos desde mediados de junio hasta septiembre inclusive. Estos pastos son arrendados al Ayuntamiento de Yebra de Basa y a particulares.
- Ganadero de San Lorenzo de Flumen. Propietario de una explotación de vacuno que emplea los pastos del puerto de Ainielle y la ladera oeste del Erata (que arrienda al Ayuntamiento de Biescas) donde permanecen los animales desde primeros de mayo hasta diciembre. Además, posee fincas en Barbenuta y arrienda una gran cantidad de campos en este mismo pueblo y Espierre, a particulares. Estos montes los gestiona junto con ganaderos de Oliván, Orós Alto y Aurín.
- Ganadero de Orillena. En este núcleo se encuentra una explotación de vacuno propiedad de un descendiente de Cortillas. Posee fincas en este pueblo y además arrienda una importante superficie a otros antiguos vecinos. Mantiene sus vacas en esa zona desde finales de mayo hasta mediados de noviembre.

Resumiendo, podemos decir que los pastos del Sobrepuerto son aprovechados por 2012 cabezas de ganado vacuno, 3704 ovejas, 85 cabras y 50

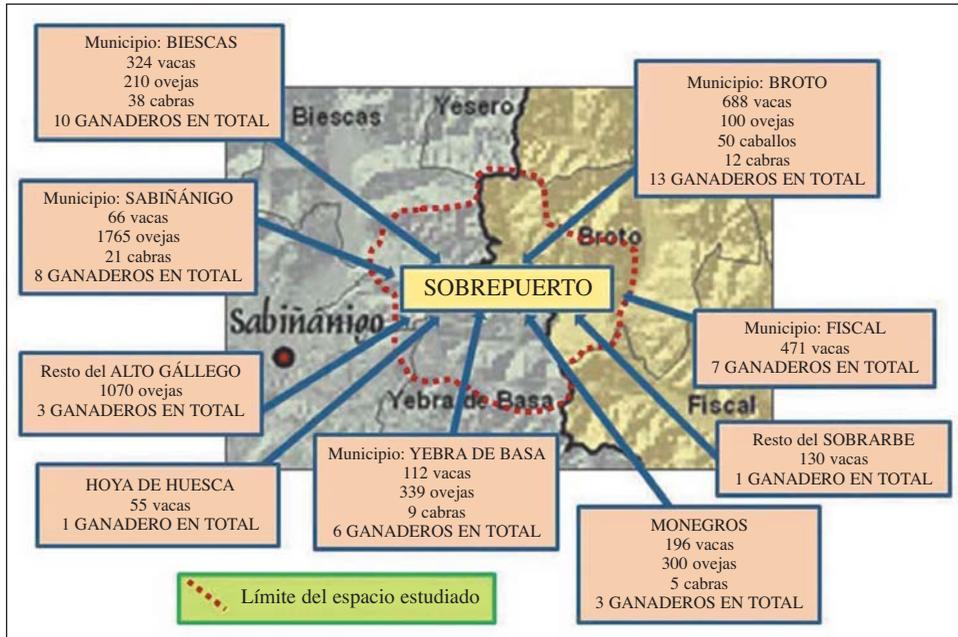


Fig. 2. Resumen de los principales datos de los ganaderos que suben sus rebaños a los pastos del Sobrepuesto.

yeguas pertenecientes a 52 ganaderos (fig. 2). El ganado vacuno es mayoritario en las explotaciones situadas al norte de la zona, mientras que el ovino es preferido por los ganaderos que suben al puerto desde las explotaciones del sur. El uso de estos puertos es complejo, ya que aparte de la orografía del terreno, hay gran diversidad en cuanto a la procedencia de los ganaderos (de 26 núcleos de población distintos), a los tiempos de permanencia de los animales en los pastos (desde 2 meses hasta 8 meses al año), a los derechos de pastos (pastos propios particulares, pastos propios del municipio, arrendados a la Administración, arrendados a particulares) y al modo de manejo de los animales (individualizado o agrupado).

Cargas ganaderas

Según los resultados obtenidos por foteointerpretación, el área de estudio tiene una superficie total de monte de 13 208,7 hectáreas, de las cuales 4679,6 son pastos. Es decir, el porcentaje de pasto de la superficie estudiada

asciende al 36%. Este valor es algo más alto del que figura en otros trabajos sobre los usos del suelo del territorio, recopilados en los Informes de Sostenibilidad Ambiental de las comarcas del Alto Gállego y Sobrarbe (GOBIERNO DE ARAGÓN, 2010a y 2010b), que dan valores de en torno al 20-25% de la superficie cubierta por pasto. La diferencia probablemente se deba a que en superficies catalogadas como bosque mixto, matorral boscoso de transición y matorral esclerófilo presentes en el territorio, se suelen encontrar superficies de pastos que no se consideran como tal. Precisamente las discrepancias entre ganaderos y Administración sobre el coeficiente de admisibilidad de los pastos de estas unidades se ha convertido en un problema en la aplicación de la nueva PAC (BUSQUÉ, 2014; RUIZ y BEAUFOY, 2015), donde recordemos que los pagos a los ganaderos se realizan por superficies.

Con este dato, una aproximación rápida a la carga ganadera del territorio, considerando un ganado total de 2626 UGM y un periodo de permanencia medio de seis meses del ganado en el puerto, sería de 0,55, que expresada en términos anuales quedaría reducida a 0,27 UGM/ha. Estos bajos valores estarían dentro del rango medio de la carga de los pastos de puerto pirenaicos que, aunque variables según el tipo de vegetación, suelen presentar medias anuales en torno a los 0,25 UGM/ha (1 UGM/ha durante el verano) (FILLAT y cols., 2008). Para RUIZ y BEAUFOY (2015) cargas anuales inferiores a 1 UGM / hectárea puede considerarse un indicador de extensividad en la actividad ganadera. Recientemente, el Gobierno de Aragón (BOA, 2015) ha establecido como compromiso para recibir la ayuda agroambiental por “extensificación adicional del pastoreo”, unas cargas anuales de entre 0,1 y 1,4 UGM/ha.

En la tabla III se detallan las superficies y las cargas ganaderas en cada una de las unidades de pastos del Sobrepuerto. Destacaron por su superficie la unidad formada por los montes de Casbas de Jaca, Susín y Berbusa, con 1936,21 hectáreas, y la de Cortillas, Santa Orosia, Sobás, Osán y Sanromán, con 1855,73 hectáreas. Ambas son además las que más superficies de pastos tienen, sobre todo la segunda con 785,25 hectáreas. Las fincas de Otal y Cillas, pese a no tener mucha superficie, presentan porcentajes de pastos herbáceos superiores al 80% y son destacables también los porcentajes en torno al 60% de pastos herbáceos que albergan las fincas de Basarán y los montes de Escartín, Ainielle, Esperre y Barbenuta.

Estimando la superficie útil disponible para el ganado y conociendo el número de animales, sus respectivos movimientos rutinarios y teniendo en cuenta los tiempos de pastoreo, se han obtenido las cargas de las distintas unidades de la tabla III. Aparte de las fincas y monte de Bergua que no se pastan, en general, se obtuvieron unos valores bajos en todo el territorio, especialmente en el MUP de Cillas (0,06 UGM/ha al año), pero también en las fincas de Otal, Basarán y en los montes de Casbas, Susín y Berbusa, así como en el de Ayerbe de Broto y el Solano de Bergua que no superan en ningún caso las 0,15 UGM/ha al año. En el otro extremo las fincas privadas de Escartín —pardina de La Isuala, el denominado puerto de Ainielle y el MUP de Otal— son las que mejores cifras anuales presentaron con valores en torno a 0,40-0,50 UGM/ha y año, y las que pensamos que presentan un aprovechamiento más deseable.

Tabla III. Superficie total de los montes, superficies de pasto y cargas ganaderas anuales de las distintas unidades de los pastos del Sobrepuesto, según LAPLANA y cols. (2005).

| <i>Unidades de pastos</i> | <i>Superficie total (ha)</i> | <i>Superficie de pastos (ha)</i> | <i>Cargas anuales (UGM/ha)</i> |
|---|------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Monte público de Otal | 982,31 | 419,03 | 0,45 |
| Fincas de Otal | 129,83 | 105,58 | 0,11 |
| Monte público de Basarán | 497,07 | 167,23 | 0,20 |
| Fincas de Basarán | 179,89 | 108,01 | 0,14 |
| Pardina Niablas | 260,37 | 77,33 | 0,26 |
| Monte público de Escartín | 525,47 | 332,75 | 0,26 |
| Fincas de Escartín y pardina de La Isuala | 641,46 | 317,20 | 0,50 |
| Ayerbe de Broto y Solano de Bergua | 809,51 | 258,19 | 0,12 |
| Puerto de Ainielle | 461,57 | 269,84 | 0,56 |
| Fincas de Ainielle | 295,88 | 54,11 | 0,16 |
| Monte de Sasa, pardina Fenés y Pallarón | 1290,02 | 388,99 | 0,24 |
| Monte público de Cillas | 286,41 | 126,33 | 0,06 |
| Fincas de Cillas | 97,05 | 78,61 | 0,15 |
| Fincas de Cortillas | 650,93 | 344,68 | 0,25 |
| Cortillas, Santa Orosia, Sobás, Osán y Sanromán | 1855,73 | 758,25 | 0,18 |
| Montes de Javierre, Isún y Satué | 1121,96 | 401,92 | 0,27 |
| Montes de Casbas de Jaca, Susín y Berbusa | 1936,21 | 428,83 | 0,10 |
| Fincas y monte de Bergua | 987,04 | 132,72 | 0,00 |

También conviene comentar que algunos ganaderos del municipio de Broto aprovechan el pasto joven de la primavera en el Sobrepuerto hasta el mes de julio, momento en que conducen sus rebaños a las estivas mancomunadas del valle de Bujaruelo organizadas en vicos o a los pastos faceros franceses descritos y regresan en el mes de octubre para que el ganado consuma el rebrote otoñal, donde permanecen hasta que las inclemencias invernales les obligan a dirigirse a las explotaciones. Este es el caso de los montes públicos y fincas de Otal, y, sobre todo, de Basarán, la pardina Niasblas y las fincas de Basarán y Ainielle, que presentaron valores anuales de carga más bajos de lo esperado por ese motivo.

Esta escasa presión ganadera es apreciable en la vegetación, cada vez con menos superficie de pasto herbáceo y más matorral esclerófilo colonizador, formado principalmente por erizón (*Echinopartum horridum*) en el monte y por aliaga (*Genista scorpius*) y gabarderas (*Rosa* sp.) en las fincas privadas, que permiten con el tiempo el lento establecimiento de las especies arbóreas dominantes, fundamentalmente pinares de *Pinus sylvestris*. El hecho de que el pastoreo del ganado bovino predominante no sea apenas orientado por los ganaderos favorece más esta dinámica. Por ejemplo, algunas zonas en los extensos pastos citados de las laderas este y sur del Oturia presentan sobrecargas durante el periodo estival, mientras que otras prácticamente no se aprovechan y es donde más avanza la matorralización descrita. Por lo tanto, este problema en la gestión de los pastos, sobre todo con el vacuno extensivo, que ya ha sido descrito en pastos vecinos (CASASÚS y cols., 2007) no es tanto un problema de ajuste de la carga ganadera anual de las distintas unidades, sino de dirigir correctamente al ganado por el pasto a lo largo de la estación, es decir, de pastoreo.

Consecuentemente estos dos factores mencionados —las bajas cargas ganaderas anuales con los que se aprovechan los pastos del Sobrepuerto y la falta de pastores que muevan a diario los rebaños por el monte (solo se pastorea el ganado ovino que representa únicamente el 21% de las UGM que suben a estos puertos)— resultan en una escasa presión ganadera en la mayor parte del espacio que derivará en una reducción y embastecimiento del recurso herbáceo y una tendencia a la matorralización del monte. A esta pérdida de la productividad de los pastos se añade el exceso de biomasa acumulada, potencialmente combustible que hace incrementar el riesgo de

incendios, de difícil control en una zona tan despoblada como el Sobrepuerto. A este respecto solo queremos apuntar que en un reciente estudio sobre prevención de incendios, comparando distintos procedimientos para mantener el monte libre de biomasa combustible (LLAGOSTERA y VALLVEY, 2011), el pastoreo del ganado ovino reducía en un 87% el coste de distintos procedimientos de desbroces manuales y mecánicos.

CONCLUSIONES

Los pastos del Sobrepuerto son aprovechados por 52 ganaderos de 26 núcleos de población diferentes que suben a los puertos anualmente 2012 cabezas de ganado vacuno, 3704 ovejas, 85 cabras y 50 yeguas. Las distintas procedencias de los ganaderos, regímenes de propiedad de los puertos y permanencia de los animales en el puerto ponen en evidencia una organización compleja del pastoreo.

Los montes aprovechados tienen 13 208 hectáreas de superficie, el 36% de la misma se estima que son pastos herbáceos, que se reparten en 18 unidades de gestión. Presentan unas cargas ganaderas anuales bajas con máximos de 0,56 UGM y mínimos de 0,06 UGM. Esta baja presión ganadera unida a la falta de pastoreo del ganado bovino mayoritario en los pastos (77% de las UGM) facilita la matorralización de los pastos y la pérdida del recurso herbáceo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la I Beca Sobrepuerto concedida a Javier Sardaña por el Ayuntamiento de Broto en el año 2011.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atlas climático digital de Aragón* (2012). <http://www.opengis.uab.es/wms/aragon> [consulta: 13/4/2012].
- BOA (2009). Decreto 94/2009, de 26 de mayo, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba la revisión de las Directrices sectoriales sobre actividades e instalaciones ganaderas. Anexo Directrices sectoriales sobre actividades e instalaciones ganaderas (capítulo VII, anexo I).

- BOA (2015). Orden de 19 de febrero de 2015, del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, por la que se aprueban las bases reguladoras de las ayudas en materia de agroambiente y clima, las de agricultura ecológica, así como de los pagos al amparo de la Red Natura 2000 y de la Directiva Marco del Agua, en el ámbito del Programa de Desarrollo Rural para Aragón 2014-2020.
- BUSQUÉ, J. (2014). De la investigación a la práctica: herramientas para gestionar la ganadería de montaña y los pastos comunales de Cantabria dentro de la política agraria común. *Pastos*, 44 (1): 6-42.
- CASASÚS I., A. BERNUÉS, A. SANZ, D. VILLALBA, J. L. RIEDEL y R. REVILLA (2007). Vegetation dynamics in Mediterranean forest pastures as affected by beef cattle grazing. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121: 365-370.
- COMISIÓN EUROPEA (1992). *Directiva 92/43/CEE, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres*. Comisión Europea. Bruselas.
- DEFONTAINES, J. P., y M. PETIT (1985). Comment étudier les exploitations agricoles d'une région? Présentation d'un ensemble méthodologique. *Études et Recherches sur les SAD*, 4, 47 pp.
- FILLAT, F., D. GÓMEZ-GARCÍA, R. GARCÍA-GONZÁLEZ y R. REINÉ (2008). *Pastos del Pirineo*. CSIC / Diputación Provincial de Huesca. Madrid.
- GOBIERNO DE ARAGÓN (2010a). *Plan Comarcal de Desarrollo Rural Sostenible de la Comarca del Alto Gállego. Informe de Sostenibilidad Ambiental*. Departamento de Medio Ambiente.
- GOBIERNO DE ARAGÓN (2010b). *Plan Comarcal de Desarrollo Rural Sostenible de la Comarca del Sobrarbe. Informe de Sostenibilidad Ambiental*. Departamento de Medio Ambiente.
- LAPLANA, M.^a J., M.^a L. GAVÍN y J. M.^a CAMPO (2005). *Catálogo de pueblos y municipios de Aragón – Estadística de población y nomenclaturas toponímicas entre 1900 y 2004*. IAEST. Zaragoza.
- LLAGOSTERA, J., y A. VALLVEY (2011). La ramaderia extensiva com a eina de gestió en la prevenció d'incendis, conservació i millora de la biodiversitat. En *Actes VI Jornades del Parc Natural de Montsant. La pastura a la muntanya mediterrània: gestió i patrimoni*: 141-148. La Morera de Montsant (Tarragona).
- MONTSERRAT, P. (2009). *La cultura que hace el paisaje*. Fertilidad de la Tierra. Estella (Navarra).
- OLAIZOLA, A., y A. GIBON (1997). Bases teóricas y metodológicas para el estudio de las explotaciones ganaderas y sus relaciones con el espacio. La orientación de la escuela francesa de sistemistas. *ITEA*, 93 (1): 17-39.
- RAZQUIN, M. M.^a, E. ARANGUREN, M. TAÜLL, J. A. FERNÁNDEZ, V. FERRER, P. GASCOUAT y R. M.^a CANALS (2012). Las facerías internacionales en el Pirineo: historia, actualidad y futuro. En R. M.^a Canals y L. San Emeterio (coord.). *Nuevos retos de la ganadería extensiva: un agente de conservación en peligro de extinción*: 3-28. SEEP. Pamplona.

- RED NATURAL DE ARAGÓN (2008). Proyecto de declaración del Paisaje Protegido de Santa Orosia-Sobrepuesto. Disponible en [http://bases.cortesaragon.es/bases/Ndocument-VIII.nsf/69b541b37a1f7fb0c12576d20031f70e/41a748c545a3cddbc1257b42002a248c/\\$FILE/memoria.pdf](http://bases.cortesaragon.es/bases/Ndocument-VIII.nsf/69b541b37a1f7fb0c12576d20031f70e/41a748c545a3cddbc1257b42002a248c/$FILE/memoria.pdf) [consulta: 15/4/2012].
- REINÉ, R., O. BARRANTES, A. BROCA y C. FERRER (2009). *La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas*. SEEP. Huesca.
- RIVAS MARTÍNEZ, S. (1987). *Memoria y mapa de las series de vegetación de España. 1: 400 000*. ICONA. Serie Técnica. MAPA. Madrid.
- RUIZ, J., y G. BEAUFOY (2015). *Informe sobre la elegibilidad para pagos directos de la PAC de los pastos leñosos españoles*. Plataforma por la Ganadería Extensiva y el Pastoralismo. Madrid.
- SAN MIGUEL, A. (2001). *Pastos naturales españoles*. Fundación Conde del Valle de Salazar. Mundi-Prensa. Madrid.
- SARDAÑA, J. (2009). *Tipificación de las explotaciones ganaderas de montaña en el valle de Broto (Huesca)*. Proyecto Fin de Carrera. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza.
- SARDAÑA, J. (2012). *Bases para una gestión agrosilvopastoral del Sobrepuesto*. I Beca del Sobrepuesto. Memoria inédita.
- SATUÉ, E. (1979). Sobrepuesto: techo de Serrablo. *Argensola*, 88: 327-380.
- SATUÉ, J. M.^a (1997). *Semblanzas de Escartín*. IEA (Cosas Nuestras, 18). Huesca.
- SIOSE (2011). *Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España*. Ministerio de Fomento. <http://idearagon.aragon.es/visorSIOSE> [consulta: 10/10/2011].
- STRIJKER, D. (2005). Marginal lands in Europe – causes of decline. *Basic and Applied Ecology*, 6: 99-106.
- YERA, J., J. ASCASO, C. CHOCARRO, C. FERRER y R. REINÉ (2009). 6210 Pastos vivaces mesofíticos y mesoxerofíticos sobre sustratos calcáreos de Festuco-Brometea. En *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Dirección General del Medio Natural y Política Forestal. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.

JOAQUÍN XIMÉNEZ DE EMBÚN Y OSEÑALDE Y FLORENTINO AZPEITIA FLORÉN: DOS ARAGONESES EN EL ORIGEN DEL PLAN GENERAL DE REPOBLACIÓN FORESTAL DE ESPAÑA DE 1939

Ignacio PÉREZ-SOBA¹
Jesús PEMÁN²

RESUMEN.— El artículo analiza las biografías y el pensamiento de los ingenieros de Montes Joaquín Ximénez de Embún y Oseñalde (1882-1954) y Florentino Azpeitia Florén (1891-1969), ambos de origen aragonés, que ocuparon un lugar central en el encargo del Plan General de Repoblación Forestal de España, redactado en 1939, documento de gran trascendencia histórica. Tras presentar las biografías personales y científicas de ambos ingenieros, se estudia el proceso histórico que dio origen a dicho Plan General, que se basa en muy directos antecedentes de las décadas de 1920 y 1930. Entre ellos, destacan las publicaciones de Ximénez de Embún en la década de 1920, los *Ensayos forestales* publicados por Ximénez de Embún y Azpeitia en 1931 y el anejo forestal del Plan General de Obras Hidráulicas de 1933. Tras ello, se estudia el ideario repoblador en el que se basan el Plan de Repoblación de 1939 y sus antecedentes, y que busca superar, por integración de ideas complementarias, las principales polémicas que desde hacía décadas afectaban a la repoblación forestal en España. Las conclusiones enumeran los que se entienden como principios básicos de dicho ideario.

Recepción del original: 17-11-2015

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

² Departamento de Producción Vegetal y Ciencia Forestal. Universidad de Lérida. C/ Rovira Roure, 191. E-25199 LÉRIDA. peman@pvcf.udl.cat

ABSTRACT.— The paper analyzes the biographies and thoughts of the Forestry engineers Joaquín Ximénez de Embún y Oseñalde (1882-1954) and Florentino Azpeitia Florén (1891-1969), both from Aragon, who played a key role in the drafting and development of the General Plan of Reforestation of Spain written in 1939, a document of great historical significance. After presenting the personal and scientific biographies of both engineers, the paper studies the historical process that led to this General Plan, which is very closely based on preceding documents from the 1920s and 1930s. Among them, publications from Ximénez de Embún in the 1920s, the book *Forestry Essays* published by Ximénez de Embún and Azpeitia in 1931 as well as the forestry supplement of the 1933 General Plan of Hydraulic Works. Then, it goes on to analyze the ideology of the General Plan of Reforestation, and the preceding documents, which intends to overcome the main controversies that had affected reforestation policies in Spain for decades, by integrating complementary ideas. The conclusion lists the key principles of that ideology.

KEY WORDS.— Forestry engineers, rural development, General Plan of Reforestation of Spain (1939).

INTRODUCCIÓN

El Plan General de Repoblación Forestal de España fue un documento técnico redactado entre junio de 1938 y enero de 1939 por encargo del Ministerio de Agricultura del Gobierno del general Franco, y cuyos autores fueron los ingenieros de Montes Joaquín Ximénez de Embún y Oseñalde (1882-1954) y Luis Ceballos y Fernández de Córdoba (1896-1967) (XIMÉNEZ DE EMBÚN y CEBALLOS, 1939). Este Plan daba por fin cumplimiento a una muy antigua aspiración de la ingeniería de Montes española: hacer un estudio global de España (aunque el Plan de 1939 se limita a la España peninsular) desde el punto de vista de la necesidad y posibilidad de su repoblación forestal. Un plan nacional de este tipo lo había reclamado abiertamente el Cuerpo de Ingenieros de Montes desde al menos 1868, y se había intentado en varias ocasiones durante los siglos XIX y XX, siempre sin un éxito claro, puesto que solo llegaron a producirse documentos parciales, o meramente oficiosos (PEMÁN, 2013: 11).

El Plan en sí es un documento de extraordinaria importancia científica, técnica y social. Por un lado, se sitúa en las corrientes de pensamiento y ciencia más avanzadas de su tiempo, en muy distintos aspectos: geobotánicos,

sociales, económicos, administrativos o de ordenación del territorio. En palabras de GÓMEZ MENDOZA y MATA (1992: 18), demuestra un “impecable respeto por los conocimientos de la época”. Es más (añadimos nosotros, en una idea que luego desarrollaremos), en muchos aspectos (sobre todo, paradójicamente, en los menos citados hoy) el Plan es de una actualidad llamativa. Y, por otro, como señala ORTUÑO (1990: 377), “compendiaba toda la experiencia y conocimientos acumulados por los servicios forestales españoles en sus casi cien años de existencia”. Es decir, es un documento con rigor científico y a la vez conocedor de los problemas y las dificultades reales a superar; que bebe de la literatura internacional, pero también de la experiencia de la ingeniería de Montes española.

Pero quizá lo que más ha contribuido a la fama del Plan haya sido que antecedió inmediatamente a unas décadas (1940-1980) en las que el Estado llevó a la práctica con verdadero entusiasmo trabajos de repoblación forestal acelerados, y cada vez más ambiciosos, que sacaron a la ingeniería de Montes española de su hasta entonces sempiterna marginalidad: durante los años 1940-1986 se repoblaron en España, con intervención directa del Estado, 3 795 213 hectáreas (ORTUÑO, 1990: 385). Estos trabajos, desarrollados hasta 1971 muy principalmente por el organismo conocido como Patrimonio Forestal del Estado (el PFE, creado en 1935 y refundado en 1939 y 1941), constituyeron la mayor obra de repoblación forestal que ha conocido España y una de las más importantes jamás hechas en el mundo. El conjunto que forman estas repoblaciones es de una magnitud asombrosa; en palabras del eminente botánico Juan Ruiz de la Torre, “supuso un gigantesco y magnífico esfuerzo, que prestigió, a escala internacional, la labor y la profesionalidad de los forestales españoles” (RUIZ DE LA TORRE, 1996: 63).

Por eso, dio la impresión de que el Plan “se había cumplido”. En realidad, no fue exactamente así: se ha señalado, con razón (GÓMEZ MENDOZA y MATA, 1992: 22; PIRES y RAMOS, 2005: 88), que hubo una evidente desconexión entre la ejecución de esta enorme tarea de repoblación y el Plan de Ximénez de Embún y Ceballos que, en principio, había sido encargado para servirle de base. Esta desconexión fue reconocida abiertamente incluso durante la ejecución del Plan: en 1962, en una reunión profesional tan relevante como la II Asamblea Técnica Forestal, se calificaba el Plan Ximénez de Embún – Ceballos como un mero estudio previo (PITA, 1963: 326),

sin relación directa con la actuación posterior, que se decía vinculada a otro Plan (que no se ha publicado ni hoy se conoce en los archivos forestales) redactado en 1940 por los también ingenieros de Montes Ángel Esteva Bardía y Tomás de Villanueva y Aldaz (MARTÍN LOBO, 1963: 55, 1965: 137). En todo caso, parece claro que el PFE se guio más por planificaciones o disponibilidades presupuestarias que por los planes de 1939 o de 1940. Lorenzo Casado, subdirector del PFE desde 1944, señalaba en 1950 que “a nada conduce el cifrar el coste total de los trabajos, ni siquiera formular planes quinquenales o decenales de tipo financiero [...] es el Gobierno quien, a la vista de las disponibilidades económicas del erario público, señalará cada año el crédito máximo que a esta atención puede dedicar la Hacienda Nacional, y la marcha de la cuantía de estos créditos fijará el ritmo de repoblación forestal” (CASADO, 1950: 344).

No obstante, una comparación objetiva del ideario repoblador que figura en muchas de las publicaciones y de los documentos producidos por el PFE con el que se contiene en el Plan de Repoblación de 1939 no halla realmente una desconexión profunda y general entre ambos. No cabe, desde luego, desconocer que hay multitud de diferencias de matiz, de sensibilidad y de asignación de preferencias y prioridades, que hay omisiones y adiciones, pero en última instancia existe una coincidencia última en la ideología y los principios generales que deben regir la repoblación forestal, en especial en sus aspectos económicos y sociales. Por ejemplo, sorprenden las coincidencias de análisis y de soluciones que se dan entre las ponencias aprobadas en la mencionada II Asamblea Técnica Forestal acerca de materias como la repoblación en general, sus relaciones con el pastoralismo, la participación de la propiedad privada o el desarrollo de las comunidades rurales, con los apartados que tratan esos temas en el Plan de 1939. No debe olvidarse lo que señala RUIZ DE LA TORRE (1996: 63): que Luis Ceballos formó parte del Consejo rector del PFE durante seis años, de 1939 a 1945, lo cual no parece fácil si hubiera creído traicionados (más allá de discrepancias concretas) los principios recogidos en el Plan que él había firmado muy poco antes. Ello quiere decir que, aunque en efecto el Plan no fuera usado como guía para las grandes repoblaciones de 1940-1980, sí era un reflejo bastante fiel de una ideología repobladora nacida en el primer tercio del siglo XX, que se apartaba sensiblemente de la que tenía el Cuerpo de Montes en el siglo XIX, y que en gran medida sería la que heredaron las

generaciones de ingenieros de Montes que iban a tomar la dominancia en el Cuerpo a partir de 1940.

Se da además la circunstancia de que tanto en el origen directo del Plan como en la formación de la ideología mencionada se hallaron dos eximios ingenieros de Montes de profunda raigambre aragonesa: el ya citado Joaquín Ximénez de Embún y Oseñalde y Florentino Azpeitia Florén. Desde luego, estos dos autores no fueron, ni mucho menos, los únicos en promover la renovación del pensamiento acerca de los aspectos sociales y económicos de la repoblación forestal: muchos otros brillantes ingenieros de Montes, entre los que cabe citar a Fernando Baró Zorrilla, Miguel del Campo Bartolomé, Octavio Elorrieta Artaza, Ernesto Cañedo-Argüelles Quintana, Tomás de Villanueva y Aldaz o Juan Antonio Pérez-Urruti Villalobos, contribuyeron con sus publicaciones y sus actividades a dicha renovación. Pero es indiscutible que, sin Azpeitia ni Ximénez de Embún, el Plan de repoblación de 1939 nunca se hubiera encargado ni redactado; y también lo es que Ximénez de Embún ocupa un lugar central en la evolución del pensamiento repoblador en el primer tercio del siglo xx.

A pesar de todo lo anterior, Azpeitia y Ximénez de Embún son hoy muy poco conocidos. En particular, es llamativo e injusto el olvido que ha sufrido Ximénez de Embún en relación con el Plan de Repoblación de 1939. Como luego se insistirá, él fue el autor único del Plan, contando con Ceballos como colaborador, y si bien el trabajo finalmente presentado al Ministerio de Agricultura está firmado por ambos como coautores, Ximénez de Embún figura el primero en la portada. Parece probado —como luego se verá— que los coautores se repartieron el trabajo por capítulos, y es probable que al menos trece de los dieciséis capítulos correspondieran a Ximénez de Embún. Sin embargo, la enorme brillantez intelectual de Ceballos en las décadas siguientes (véase, por ejemplo, RUIZ DE LA TORRE, 1996) ha oscurecido a Ximénez de Embún hasta el punto de que el Plan es llamado en no pocas ocasiones simplemente *Plan Ceballos*. Por ello, frases que con toda evidencia salieron de la pluma de Ximénez de Embún hoy se citan como obra de Ceballos a causa de este injusto oscurecimiento de su verdadero autor.

Por todo lo anterior, y estando esta revista de ciencias orientada de manera preferente a Aragón, es nuestro propósito realizar un análisis somero

del papel, verdaderamente central, que desempeñaron Ximénez de Embún y Azpeitia en el origen del Plan General de Repoblación de 1939, así como dar a conocer sus biografías y repasar los principales elementos de su visión social y económica de la repoblación forestal.

APUNTES BIOGRÁFICOS

En este apartado relataremos solo los principales hechos biográficos de nuestros dos protagonistas, posponiendo hasta el apartado siguiente la presentación detallada de los datos y publicaciones directamente relacionados con el Plan General de Repoblación de 1939, que ahora citaremos someramente u omitiremos.

Joaquín Ximénez de Embún y Oseñalde (1882-1954)

Joaquín Ximénez de Embún y Oseñalde nació en Pamplona, en la madrugada del 13 de mayo de 1882, aunque en una familia de profundas, e ilustres, raíces aragonesas (fig. 1). El apellido Ximénez de Embún aparece en muchos personajes de la historia de Aragón desde la Edad Media, como protagonistas de hechos de armas y de letras, aristócratas o desempeñando cargos relevantes (XALAS, 1916). La rama a la que pertenecía Joaquín estaba vinculada a la villa de La Almunia de Doña Godina (Zaragoza), donde habían nacido sus abuelos paternos (Tomás Ximénez de Embún Allende-Salazar y



Fig. 1. Fotografía y firma de Joaquín Ximénez de Embún y Oseñalde. La fotografía es la incluida en su carné de ingeniero de Montes, fechado el 4 de mayo de 1926.



Fig. 2. Rótulo de la calle con que la ciudad de Zaragoza recuerda a Tomás Ximénez de Embún. (Foto: Ignacio Pérez-Soba)

Teresa Val Contín) y su padre, Miguel Ximénez de Embún y Val, quien fue oficial de artillería y durante muchos años miembro del Estado Mayor de la Real Maestranza de Zaragoza. Su madre, María del Pilar Oseñalde, era natural del pueblo oscense de Alcolea de Cinca. Por tanto, fue tío carnal de Joaquín el ilustre erudito, historiador y literato aragonés Tomás Ximénez de Embún y Val (1843-1924), archivero del Ayuntamiento de Zaragoza desde 1900 y cronista de la ciudad desde 1915, autor, entre otras obras, de *Ensayo acerca de los orígenes de Aragón y Navarra* (1878) y de *Descripción histórica de Zaragoza y sus términos municipales* (1901), y editor en 1876 de la *Historia de la Corona de Aragón (la más antigua de que se tiene noticia)*, conocida generalmente con el nombre de *Crónica de San Juan de la Peña* (GONZÁLEZ MIRANDA, 1982). La ciudad de Zaragoza rinde homenaje a Tomás Ximénez de Embún con una pequeña calle que comunica la plaza del Pilar con el río Ebro (fig. 2).

Uno de los hermanos de Joaquín, Francisco Ximénez de Embún, fue un magistrado que presidió varias audiencias provinciales y el Tribunal Central de Trabajo, y que fue distinguido con la Cruz de Honor de San Raimundo de Peñafort. Otro hermano, Tomás, fue, como su padre, oficial de artillería. Y otro más, Miguel, fue también ingeniero de Montes: finalizaría sus estudios en 1921 como miembro de la sexagésima sexta promoción de la Escuela de Ingenieros de Montes.

Joaquín debió de ingresar en la Escuela Especial de Ingenieros de Montes en 1901, con 19 años, cuando dicha escuela ya estaba ubicada en la villa de San Lorenzo de El Escorial. Terminó sus estudios el 30 de septiembre de 1905, como número cuatro de la quincuagésima promoción, en la que le acompañaron (por orden de promoción) Esteban Fernández Juncosa, Adolfo Dalda de la Torre, Fernando Torres Rodríguez, Francisco Isasa Valle, Octaviano Griñán y Gómez, Flaviano García Monje y Rogelio Rodríguez Olivera (GARCÍA-ESCUADERO, 1948).

El 7 de octubre de 1905, Joaquín ingresó en el Cuerpo de Ingenieros de Montes. En sus primeros años de servicio pasó por los tres distritos forestales aragoneses. Tuvo primero una estancia muy breve en el Distrito de Teruel (14 de octubre de 1905 – 17 de marzo de 1906), luego una algo más larga (hasta el 19 de febrero de 1908) en el Distrito de Huesca, destino que compatibilizó con su trabajo en la Segunda Brigada de Ordenaciones de Montes, y una ya de casi cinco años en el Distrito Forestal de Zaragoza. En esa época contrajo matrimonio con Petra González-Arno y Castañeira, hermana de otro ingeniero de Montes un poco más joven (Antonio González-Arno, de la quincuagésima tercera promoción). Del matrimonio de Joaquín y Petra nació, el 10 de enero de 1913, quien sería también ingeniero de Montes ilustre, Joaquín Ximénez de Embún y González-Arno (1913-1963) (GRIMALT, 2014), que a menudo es hoy confundido con su padre. Consta la existencia de dos hijos más del matrimonio Ximénez de Embún y González-Arno: Ángel (que fue sacerdote) y María del Pilar, que se casó con Javier Bordiú.

El 21 de enero de 1913 (pocos días, por tanto, después del nacimiento de su primer hijo), Joaquín tomó posesión de la plaza de profesor de la Escuela Especial de Ingenieros de Montes, sita entonces aún en San Lorenzo de El Escorial, pero que muy pronto (1914) se trasladaría a Madrid. Allí impartió las asignaturas de Mecánica Aplicada a las Máquinas y Resistencia de Materiales, y de Hidráulica General y Torrencial. Llegó en esa etapa a dar clase a su hermano Miguel, a quien (de acuerdo con los recuerdos familiares que nos ha transmitido nuestro compañero Antonio Ortiz de Solórzano y Aurusa) trató con un rigor académico tal que rayaba en lo excesivo, para disipar cualquier sospecha de favoritismo.

En esta etapa, Joaquín fue especializándose en corrección hidrológico-forestal: ya en 1915 publicó, en colaboración con otro profesor de la Escuela,

un artículo sobre el alud que ese año destruyó gran parte de las instalaciones del balneario de Panticosa (XIMÉNEZ DE EMBÚN y VELAZ DE MEDRANO, 1915). Se explica, por tanto, que el 23 de diciembre de 1917 abandonara la Escuela para volver de nuevo a Aragón, uniéndose a la Sexta División Hidrológico-Forestal dirigida por el eximio ingeniero de Montes Pedro Ayerbe Allué, y que estaba realizando espectaculares e innovadoras obras de corrección de aludes y torrentes en los Pirineos oscenses (PEMÁN y PÉREZ-SOBA, 2013). En 1922, por una reorganización de las divisiones hidrológico-forestales (Real Decreto de 18 de octubre de dicho año), Joaquín pasó a depender de la Novena División (cuena media del Ebro, Jalón, Jiloca y piscifactoría del monasterio de Piedra, con sede en Zaragoza), dirigida por el no menos brillante ingeniero de Montes Nicolás Ricardo García Cañada, y que tuvo una existencia efímera, puesto que en 1924 se reintegró en la Sexta División. El paso de Ximénez de Embún por las divisiones hidrológico-forestales tuvo dos consecuencias importantes, sobre las que luego insistiremos: dotarle de una amplia experiencia práctica en repoblación forestal y estudio de cuencas hidrológicas de montaña, y hacer amistad con un joven Florentino Azpeitia Florén —quien se había incorporado a la Sexta División en 1916—, amistad que sería muy relevante para el encargo del Plan General de Repoblación de 1939. También en estos años publicó dos trabajos divulgadores en la serie denominada “Catecismos del Agricultor y del Ganadero” (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1922, 1923).

El 7 de octubre de 1926, Joaquín se trasladó a la Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro (constituida ese mismo año según lo dispuesto por el Real Decreto de 5 de marzo anterior), respondiendo a la llamada de Manuel Lorenzo Pardo, insigne ingeniero de Caminos y primer director de la Confederación, para dirigir el nuevo Servicio de Aplicaciones Forestales (fig. 3). Esta etapa en la Confederación fue para Joaquín de una extrema actividad y le dejó una impronta imborrable. En febrero de 1931, Ximénez de Embún recibió la Insignia Extraordinaria de la Confederación, en agradecimiento por los servicios prestados, condecoración que hasta entonces solo habían recibido el propio Lorenzo Pardo, el conde de Guadalhorce (el ministro que había creado las confederaciones hidrográficas) y Cornelio Arellano Lapuerta (un destacado ingeniero de Caminos de la Confederación). En esta época Joaquín hizo también una colaboración poco conocida para el *Diccionario de Agricultura, Zootecnia y Veterinaria* publicado por la



Fig. 3. Visita de los miembros de la Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro al ministro de Fomento para entregarle el emblema de la confederación en el aniversario de los decretos de constitución. Ximénez de Embún podría ser el primero por la derecha. (ANÓNIMO, 1928)

editorial Salvat y dirigido por el agrónomo Augusto Matons y por el veterinario Pedro Mártir Rosell y Vilá.

Sin embargo, su etapa en la Confederación finalizaría abruptamente en octubre de 1931, cuando solicitó el reingreso en el Cuerpo de Ingenieros de Montes, que no sería efectivo hasta el 6 de julio de 1932. Probablemente propiciarían su salida los cambios producidos como consecuencia de la llegada de la Segunda República, ya que durante los primeros meses del nuevo régimen se abrieron debates, a menudo revanchistas, sobre la actuación de numerosos organismos públicos durante la dictadura de Primo de Rivera, entre ellos las confederaciones. Como consecuencia de ello, Álvaro de Albornoz, ministro de Fomento, convirtió estos organismos en mancomunidades (Decreto de 26 de junio de 1931), y apenas dos meses después, Manuel Lorenzo Pardo cesaba en su cargo y sufría la apertura de un expediente para la depuración de sus presuntas responsabilidades (SÁENZ RIDRUEJO y SÁENZ RIDRUEJO, 1993).

La salida de Ximénez de Embún de la Confederación supuso también su marcha definitiva de Aragón. Su nuevo destino fue la Jefatura del Distrito Forestal de Soria, donde permaneció ocho años, y desde donde colaboró en dos grandes planes nacionales: redactando el anexo XII del Plan Nacional de Obras Hidráulicas, publicado en 1933 por el Centro de Estudios Hidrográficos, y en 1938-1939, con Luis Ceballos, el Plan General para la Repoblación Forestal de España, tan mencionado en este artículo.

Acabada la Guerra Civil, Joaquín fue destinado a Madrid (fig. 4), donde ocuparía durante un tiempo muy breve dos destinos sucesivos: la Jefatura del Distrito Forestal de Madrid (9 de febrero – 4 de abril de 1940), en la que redactó un *Estudio relativo a la ordenación de la producción forestal de la provincia de Madrid*, y un puesto de “especialista en montes” en el Patrimonio Forestal del Estado.

Por su ascenso a inspector general de Montes el 4 de julio de 1940, se le destinó al Consejo Forestal (el máximo órgano consultivo en materia forestal, muy pronto redenominado Consejo Superior de Montes), en el que tomaría posesión el 22 de agosto y donde desempeñaría distintas tareas: la Jefatura de la 4.^a Inspección Regional; consejero inspector de los Servicios



Fig. 4. Ximénez de Embún, probablemente en la década de 1940.
(SÁENZ RIDRUEJO y SÁENZ RIDRUEJO, 1993)

Técnicos de Repoblación Forestal, Hidráulica Torrencial y Corrección de Suelos Inestables; representante en la Comisión para la Ordenación de la Producción Resinera Española; presidente de la Sección 3.^a (Economía y Estadística); presidente de los Servicios Técnicos, etcétera. Durante su estancia en Madrid fue también presidente de la Asociación de Ingenieros de Montes, y presidente del Instituto de Ingenieros Civiles de España (el antecesor del actual Instituto de la Ingeniería de España) en 1941-1942.

Finalmente, por Decreto de 17 de diciembre de 1951 fue nombrado presidente del Consejo Superior de Montes (el puesto más alto del escalafón del Cuerpo de Ingenieros de Montes), cargo en el que permaneció poco, puesto que el Decreto de 10 de mayo de 1952 le declaró jubilado por haber cumplido la edad reglamentaria. Ximénez de Embún recibiría muy poco tiempo después (Decreto de 10 de julio de 1952) la Gran Cruz de la Orden Civil del Mérito Agrícola. Falleció en Barcelona el 31 de marzo de 1954.

La *Revista de Montes* (órgano de expresión oficioso del Cuerpo de Ingenieros de Montes) alabó su personalidad y su profesionalidad tanto con motivo de su jubilación como de su fallecimiento: “hombre de iniciativas, de probidad acrisolada y caballerosidad intachable, consagró su vida a la causa forestal, de cuya doctrina fue siempre un esforzado paladín” (ANÓNIMO, 1952); “patentizando en todos los puestos las bellas prendas morales que le adornaban, íntegro y caballeroso, supo ganar prestigio y simpatía, mereciendo la consideración general” (ANÓNIMO, 1954). Es aún más entrañable el semblante que de él dibujaba su antiguo subordinado, Luis Ceballos, cuando prologó un libro escrito por el hijo de Joaquín:

Se da en él [Joaquín Ximénez de Embún y González-Arno] la circunstancia de amar el trabajo y al monte, no solo en razón de sus estudios y del título que ostenta, sino por la herencia de la vocación decidida y de las preciosas cualidades que adornaron a su padre, el ingeniero del mismo nombre, cuya valía y meritoria labor, junto con su bondad y rectitud, todos recordamos con admiración, muy especialmente los que tuvimos la suerte de colaborar en sus trabajos, contagiándonos de su entusiasmo y aprovechando sus enseñanzas, fruto de su personal valer y larga experiencia en la profesión. El autor de este Manual, a la par que la afición forestal y las inquietudes de su padre, heredó de él la maravillosa cualidad de poner alma e ilusión en todos los asuntos que llegan a sus manos. (CEBALLOS, 1962)



Fig. 5. Florentino Azpeitia Florén, en 1922.
(Foto facilitada por los hermanos Azpeitia Muñoz)

Florentino Azpeitia Florén (1891-1969)

Como en el caso de Ximénez de Embún, Florentino Azpeitia Florén nació fuera de Aragón (en Madrid, el 6 de marzo de 1891), pero en una familia de raigambre aragonesa: sus padres (que contrajeron matrimonio en 1884) fueron Florentino y María Dolores (naturales de Ateca, Zaragoza); sus abuelos paternos, Bernardino Azpeitia y Josefa Moros (naturales de Calatayud y de Aínsa, respectivamente), y sus abuelos maternos Vicente Florén y Aquilina del Río (naturales de Ateca y de Madrid, respectivamente) (fig. 5).

El matrimonio Azpeitia Florén tuvo cinco hijos: Luis, Carmen, Aquilino, Florentino y Dolores. El cabeza de familia, Florentino Azpeitia Moros (1859-1934), fue un ingeniero de Minas, discípulo de Lucas Mallada, que destacó como naturalista y paleontólogo. Desde 1886 fue profesor de Geología y Paleontología en la Escuela de Ingenieros de Minas de Madrid, y dio a la prensa numerosas publicaciones en el ámbito de la malacología y de la diatomología. Fue académico de número de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid y perteneció a numerosas sociedades científicas (ÁLVAREZ, 1997).

Quizá por esa afición naturalista de su padre, Florentino Azpeitia Florén ingresó en la Escuela Especial de Ingenieros de Montes de San Lorenzo de

El Escorial, donde terminaría sus estudios el 30 de septiembre de 1914, con el número dos de la quincuagésima novena promoción, cuyos miembros eran (por orden de promoción) José Gómez Redondo, Jesús Ugarte, José Doménech, Santos Cecilia, Eduardo Gómez, Joaquín Martín, Teodoro Arriola, Pablo de Irazazábal, José Salazar, José Hidalgo y Frutos Valdés (GARCÍA-ESCUADERO, 1948). Su hermano, Luis Azpeitia, estuvo también vinculado a la ingeniería de Montes, aunque en otra especialización, ya que fue un fotógrafo profesional que desempeñó hasta su jubilación la Jefatura del Laboratorio de Fotografía del Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (IFIE).

Florentino estuvo poco tiempo en sus primeros destinos: el 22 de octubre de 1914 se le destina a Lérida, a la Primera División Hidrológico-Forestal, y el 30 de julio de 1915 al Distrito Forestal de Málaga, donde toma posesión el 10 de septiembre. El 17 de julio de 1916, recibe un encargo que marcaría su carrera profesional, pues se le comisiona para reforzar los trabajos que desarrollaba la Sexta División Hidrológico-Forestal para la defensa contra aludes y avenidas torrenciales del emplazamiento de la Estación Internacional de Canfranc, trabajos que dirigía el ingeniero de Montes Benito Ayerbe Aísa (PEMÁN y PÉREZ-SOBA, 2013). Con la incorporación de Azpeitia (que pasaría a ser definitiva el 2 de agosto de 1916), la Dirección General de Agricultura, Minas y Montes quería dar un impulso a los trabajos de defensa, que urgía acelerar a instancia de la Administración francesa, preocupada por los efectos de los aludes registrados en el invierno de 1915, que habían dañado a algunos de los edificios construidos.

Se inicia entonces un período decisivo en la vida de Azpeitia por distintos motivos. En lo personal, se casa con Carmen González García, matrimonio del que nacieron seis hijos: Luis (que murió siendo niño), Ana María (religiosa misionera en el Perú), Carlos (marino mercante y profesor mercantil), Concepción (funcionaria del Ministerio de Agricultura), José (licenciado en Derecho y funcionario del Cuerpo Superior de Técnicos de Tráfico) y Florentino (ingeniero de Minas). En lo profesional, Azpeitia tuvo la ocasión de trabajar con ingenieros de Montes que marcarían su devenir posterior (como Joaquín Ximénez de Embún o Miguel Ganuza del Riego), y también de estar al frente, con tan solo 26 años, del proyecto de mayor presupuesto, tamaño, interés y dificultad técnica de cuantos nunca había desarrollado la ingeniería de Montes española, cual era la defensa de la

Estación de Canfranc. Este protagonismo lo adquirió de forma inesperada, por la repentina muerte en 1917 de Benito Ayerbe, y lo supo cumplir con brillantez redactando el proyecto definitivo de corrección, que abarcaba el estudio de seis cuencas torrenciales y de diecinueve cuencas con problemas de aludes, y que fue aprobado por Real Orden de 19 de septiembre de 1919 (PEMÁN y PÉREZ-SOBA, 2013).

Como recoge BERNAD (1919), Azpeitia desde entonces se dedicó con entusiasmo a dirigir las obras del proyecto, con la ayuda de otro joven ingeniero de Montes, Miguel Ganuza del Riego. Hizo también otros trabajos, como la traída de aguas a la villa de Villanúa desde los manantiales existentes en el monte de utilidad pública 321, perteneciente a dicho municipio (traída que proyectó y dirigió en 1925), o la finalización de otro de los proyectos singulares de la cuenca del río Aragón, como fue la corrección del torrente de los Meses, en el pueblo de Canfranc (AZPEITIA, 1922a y 1924), si bien en este último caso su contribución fue menor, ya que las obras de corrección de este torrente ya estaban muy avanzadas. Azpeitia se sintió, sin duda, muy orgulloso e ilusionado por estar a cargo de un proyecto tan importante como el de defensa de la Estación de Canfranc, y dio a conocer sus trabajos en varios artículos (AZPEITIA, 1919a, 1919b, 1922b y 1922c) y en una comunicación al Congreso Forestal Internacional de Roma de 1926 (AZPEITIA y GANUZA, 1926).

En ese último año, con las obras de Canfranc ya muy avanzadas (la estación se inauguró en 1928), Azpeitia se traslada al Servicio Forestal de la Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro, sin duda llamado por Ximénez de Embún. Florentino fue un eficaz colaborador en todos los trabajos de repoblación forestal y realización de estudios que desarrolló el Servicio Forestal de la Confederación del Ebro y de nuevo tuvo interés en difundirlos en varias publicaciones (AZPEITIA, 1927, 1928a y 1928b) (fig. 6). En los archivos del Servicio Provincial de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente de Zaragoza del Gobierno de Aragón se conserva uno de los estudios hechos por Azpeitia en esa época: el *Proyecto de restauración forestal de la cuenca del río Piedra*, redactado en 1929-1930 en previsión de la construcción (que se retrasaría muchos años) del pantano de la Tranquera (fig. 7). En noviembre de 1932, Azpeitia sería nombrado miembro del Consejo de Obras Públicas, cargo que desempeñó en comisión.



Fig. 6. Florentino Azpeitia Florén, en fecha no precisada (¿quizá en la década de 1930?).
(Foto facilitada por los hermanos Azpeitia Muñoz)

Al estallar la Guerra Civil, Azpeitia se incorporó a la Administración creada por el general Franco, y solo once días después de constituirse el primer Gobierno provisional de Burgos —en el que ocupó la cartera de Agricultura el falangista Raimundo Fernández Cuesta—, fue nombrado jefe del Servicio Nacional de Montes (Decreto de 11 de febrero de 1938). Este cargo fue reconvertido tras la guerra en el de director general de Montes, Caza y Pesca Fluvial, en el que seguiría Azpeitia hasta su cese, dispuesto por Decreto de 18 de enero de 1944, para ser sustituido por Salvador Robles Trueba.

Como director general de Montes, Azpeitia era también presidente del Consejo del Patrimonio Forestal del Estado, según establecía la norma constituyente de este organismo. Su etapa al frente de los dos organismos forestales debió ser frenética, como la labor que empezaba a desarrollar el PFE: desde el 25 de octubre de 1939, en que se constituye el Consejo, hasta el 20 de enero de 1944, fecha de la última reunión que presidió Azpeitia, se celebraron 235 sesiones, lo que supone una media de más de una reunión a la semana. En los Consejos del PFE volvió a coincidir con Miguel Ganuza,



Fig. 7. Portada (a la izquierda) y cajetín de uno de los planos (a la derecha) del *Proyecto de restauración forestal de la cuenca del río Piedra*, redactado en 1929-1930 por Florentino Azpeitia con la ayuda de Luis Carderera. En el cajetín consta también la firma de Ximénez de Embún dando el visto bueno, como jefe de la entonces Sección de Aplicaciones Forestales de la Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro. (Archivo del Servicio Provincial de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente de Zaragoza del Gobierno de Aragón, caja 5739, legajo 33)

quien desempeñaba desde el 1 de mayo de 1941 el cargo de director general del PFE (organismo que se había independizado de la Dirección General de Montes) y vicepresidente del Consejo. En 1944, al finalizar su etapa al frente de la Dirección General, Azpeitia recibió la encomienda de número de la Orden Civil del Mérito Agrícola, como reconocimiento a los servicios prestados.

Al cesar como director, Florentino pasó a ser jefe de la Sexta División Hidrológico-Forestal, cargo que había ganado en concurso el 22 de octubre de 1940, sin poder ocuparlo por estar desempeñando la Dirección General. Su segundo paso por la División fue efímero, ya que apenas dos meses después era nombrado jefe de Sección y subdirector secretario adjunto del Patrimonio Forestal del Estado, organismo aún dirigido por Ganuza. Azpeitia

desempeñó también en esa época otros cargos, como vocal y vicepresidente del Patronato de Protección a la Mujer (1947-1955), o miembro del Consejo Pleno y consejero de honor del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) (PÉREZ-SOBA, 2010: 62, nota 110).

En octubre de 1955, pasó al Consejo Superior de Montes, donde se le adscribe a las secciones 2.^a (Aprovechamientos, conservación y mejora de los montes) y 4.^a (Repoblaciones, hidrología, defensa contra incendios y plagas forestales). Dos años más tarde es nombrado presidente de Sección del Consejo y el 5 de enero de 1959 es nombrado vicepresidente. Doce días más tarde se hace cargo interinamente de la Presidencia, y el 21 de febrero se le nombra presidente del Consejo, cargo que ocuparía hasta su jubilación, dos años más tarde, y en el que fue sustituido precisamente por su amigo Miguel Ganuza. Azpeitia falleció el 6 de agosto de 1969.

Para acabar estos apuntes biográficos, querríamos destacar una característica común a nuestros dos protagonistas: su profundo amor por la Naturaleza y por la profesión que compartían. Esta característica queda patente en estos párrafos del único libro que escribieron juntos, con los cuales nosotros (permítasenos la digresión personal) nos sentimos totalmente identificados:

Si en todas las profesiones hemos dicho era precisa la vocación para una práctica entusiasta y fecunda de la misma, en ninguna quizá es más importante que en la de Ingeniero de Montes. El oficio del forestal es áspero como pocos: ha de resistir la intemperie en todas las estaciones; ha de templar su voluntad para luchar y malquistarse a veces con los numerosos interesados que por miseria, por incuria o por codicia, atentan contra la conservación del monte; no pueden excusarse largas caminatas [...] No hay remuneración suficiente que pueda compensar tantas molestias para el hombre que, por su preparación intelectual, podría cómodamente obtener con holgura los medios de vida precisos en ocupaciones que no exigen ni aquel esfuerzo ni aun aquel riesgo que la de Ingeniero de Montes exige. La compensación, sin embargo, no falta, ni es mezquina para el que siente la grandeza de la Naturaleza y sabe gozar de sus encantos y siente la curiosidad, siempre insatisfecha, de descubrir las leyes del desarrollo del monte, y en posesión de la ciencia adecuada, sabe modelarlo para la mejor satisfacción de las necesidades humanas, y conoce toda la importancia que su gestión tiene para el bien de la patria y se siente orgulloso de la profesión con que ha de servirla o, en una palabra, la compensación es no solo suficiente, sino espléndida cuando de verdad se tiene la necesaria e insustituible vocación. (XIMÉNEZ DE EMBÚN y AZPEITIA, 1931: 81-82)

EL CAMINO HACIA EL PLAN GENERAL DE REPOBLACIÓN FORESTAL DE 1939

No es objeto de este trabajo analizar los antecedentes más o menos lejanos del Plan de Repoblación de 1939, sino los inmediatos, los pasos —claramente señalados y concatenados— que llevaron a nuestros dos protagonistas, Ximénez de Embún y Azpeitia, a ser los elementos decisivos para que dicho Plan fuera encargado.

Las primeras propuestas renovadoras de Ximénez de Embún (1912-1916)

En el caso de Joaquín Ximénez de Embún, su camino hacia el Plan se inicia con una serie de publicaciones donde muestra, desde muy temprano, una notable sensibilidad hacia el estudio de las implicaciones sociales de la repoblación forestal, en varios aspectos. En primer lugar, en su relación con el pastoreo: ya en 1912 Joaquín publicó en la *Revista de Montes* un extenso artículo sobre el modo de compatibilizar el pastoreo y la mejora de los montes (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1912), centrandó esa compatibilización fundamentalmente en la realización de trabajos de mejora de pastizales y de racionalización del pastoreo, de modo que el aumento de producción de pastos dejara superficies disponibles para la repoblación. Volvió sobre este tema poco después, en dos artículos que llevaban un significativo título: “De política silvo-pastoral” (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1915a y 1915b). Estos tres trabajos han sido calificados por GÓMEZ MENDOZA (1992: 105) como “programáticos”, en el sentido de que suponían una notable inflexión frente a posturas anteriores del Cuerpo de Montes, mucho más excluyentes en relación con la ganadería.

Otra publicación de esa época añade otra nota que será dominante en el pensamiento repoblador de Ximénez de Embún: una carta que publica en 1913 la *Revista de Montes* (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1913), en la que Joaquín muestra su “gran entusiasmo” por la próxima realización de una Asamblea Forestal, que entiende debe servir para una reorganización de la Administración Forestal que la abra a la sociedad y le permita colaborar con amplios grupos sociales. Y, por último, su comentario sobre un discurso del vizconde de Eza en las Cortes en 1916 (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1916) señala la necesidad de superar los debates estériles sobre la preeminencia entre las obras

hidráulicas y la repoblación forestal, sustituyéndolos por una visión integradora. Nos encontramos, por tanto, entre 1912 y 1916, con una temprana llamada de Ximénez de Embún a la renovación del pensamiento repoblador, que está especialmente clara en el último artículo citado: “el problema de la repoblación forestal ha entrado en España en una nueva fase que confiamos ha de ser decisiva para su realización” (*ibidem*: 119).

La gestación de la nueva ideología repobladora (1917-1932)

Este período de publicaciones es seguido por otro de silencio, que evidentemente se vincula a su traslado a la Sexta División Hidrológico-Forestal, donde el trabajo directo en obras y estudios le aparta, naturalmente, de la escritura. Pero —como sucede casi siempre— es en esa experiencia directa, en ese trabajo silente, donde las inquietudes nacientes en 1912-1916 adquieren verdadero valor, ya que al contacto con la realidad y alrededor de un grupo de excelentes ingenieros de Montes —donde se halla ya Azpeitia— se cristalizan y concretan. Es significativo, en ese sentido, que casi al final de su etapa en la Sexta División ya publica Ximénez de Embún un nuevo artículo donde retoma, de manera más extensa, madura y concreta, su preocupación por la compatibilización entre la repoblación forestal y la economía de las sociedades rurales (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1925).

Resulta también importante subrayar que, como se ha dicho, el jefe de la Sexta División era Pedro Ayerbe Allué, quien había destacado por su concepción integradora y no excluyente de la hidrología forestal. Por tanto, a partir de esta experiencia, se entiende bien el siguiente paso en la vida profesional de Joaquín Ximénez de Embún, cuando sigue la llamada de Lorenzo Pardo y se traslada a la Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro: es un organismo nuevo, descentralizado, que cuenta con una vigorosa dirección y una gran capacidad ejecutiva, y que muestra ya desde su mismo nombre su vocación integradora y su apertura a la participación social. Y que, además, deja a Ximénez de Embún organizar con libertad su propio equipo de trabajo, donde incorpora a ingenieros de Montes jóvenes —algunos, recién titulados—, varios de los cuales proceden de la Sexta División: además de Florentino Azpeitia, forman su equipo Miguel Ganuza del Riego, Manuel Carrera Cejudo, Luis Carderera Carderera, Vicente Arturo Carranza

Bea y Martín Sada Moneo; este último también era ingeniero geógrafo, además de ingeniero de Montes (LORENZO PARDO, 1928: 74).

Ximénez de Embún quedó subyugado y lleno de ilusión por la orientación de la Confederación, que entendía como una radical novedad en materia de ordenación integral de la economía de las cuencas hidrográficas. Muy pronto comienza una serie de publicaciones en las que queda evidente que sus ideas sobre la repoblación forestal han alcanzado madurez, y en las que muestra a la Confederación como el ejemplo, único y nuevo, del modo de trabajar que permitirá acometer las grandes repoblaciones forestales que necesita España (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1927, 1928*a*, 1928*b*, 1928*c*). Especialmente interesante es el último artículo citado que —como en otras obras del autor— lleva un título muy significativo: “Cómo resolverá la Confederación el problema de la restauración forestal”. Obsérvese que se da por supuesto que la Confederación va a resolver un problema tan espinoso y complejo. El afán de Ximénez de Embún por integrar armónicamente todos los intereses relacionados con los montes le lleva incluso a buscar que las obras hidráulicas no impidan el transporte de maderas por vía fluvial, tan tradicional en el Pirineo aragonés (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1931).

Por eso, cuando en 1931 Joaquín ve peligrar el futuro de la Confederación a causa de la persecución contra Lorenzo Pardo, reacciona con la rapidez y el apasionamiento que le caracterizaban. Aprovechando que la Asociación de Ingenieros de Montes ha convocado en mayo de ese año un concurso para premiar los mejores trabajos escritos sobre “las medidas factibles que podrían dictarse por el Poder público para estimular entre los Ayuntamientos, empresas y particulares la obra de la repoblación forestal en España”, Ximénez de Embún prepara a toda prisa, junto con Florentino Azpeitia —es la única vez que escriben juntos— un estudio donde reivindica la labor repobladora de la Confederación del Ebro. Pero, cuando la Asociación decide ampliar el plazo de recepción de originales (por cierto, solo dos meses), los autores consideran que no pueden esperar a que sus ideas sean conocidas, renuncian a presentarse al concurso, y publican la obra de inmediato, pagándola de su bolsillo en una imprenta de Zaragoza. Así ve la luz un libro de gran interés, titulado —esta vez, curiosamente, de manera quizá demasiado modesta— *Ensayos forestales* (XIMÉNEZ DE EMBÚN y AZPEITIA, 1931), donde se resumen las ideas de Ximénez de Embún —que, a estas alturas,

son también las de Azpeitia— sobre todas las cuestiones sociales vinculadas con la repoblación forestal, después de casi quince años de intensa experiencia repobladora.

Cabe señalar también que en ese mismo año Ximénez de Embún presenta una ponencia en el II Congreso Nacional de la Madera y de Industrias derivadas, celebrado en Madrid del 8 al 18 de octubre de 1931, texto que se publica al año siguiente (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1932) bajo el título de “La repoblación forestal en sus relaciones con la producción e industrias de la madera”, donde amplía sus preocupaciones sociales contemplando también la relación entre la gestión forestal y las industrias de transformación de la madera.

*El anejo sobre repoblación forestal
del Plan Nacional de Obras Hidráulicas (1933)*

Por tanto, en 1932, podemos decir coloquialmente que Ximénez de Embún “está maduro” para desarrollar una propuesta global de repoblación forestal para España. Justo entonces, aparentemente, las circunstancias políticas le apartan de dicha misión cuando la caída de Lorenzo Pardo provoca la salida de Ximénez de Embún de la Confederación, y le lleva hasta la Jefatura del Distrito Forestal de Soria, un destino hasta cierto punto apartado de la primera fila institucional y científica. Pero todo cambia repentinamente cuando en febrero de 1933 el ministro de Fomento, Indalecio Prieto, crea el Centro de Estudios Hidrográficos (CEH), a cuyo frente pone, prescindiendo de toda consideración partidista, a Lorenzo Pardo, al que asigna como primera y principal misión redactar un gran Plan Nacional de Obras Hidráulicas. Lorenzo se acuerda de inmediato de Ximénez de Embún, que aceptó colaborar en la redacción del Plan “con espontáneo y natural desinterés” (SÁENZ RIDRUEJO y SÁENZ RIDRUEJO, 1993). De hecho, dos muestras claras de la confianza que Lorenzo Pardo tenía en Ximénez de Embún consisten en que este fue el único colaborador del Plan que no pertenecía ni a la Dirección General de Obras Hidráulicas ni al Centro de Estudios Hidrográficos, y en que Lorenzo Pardo volvería a contar con él en marzo de 1934, cuando le reclama durante tres meses en el CEH para formar parte de la comisión de funcionarios que debían recoger datos relativos a las obras hidráulicas de la cuenca del Ebro.

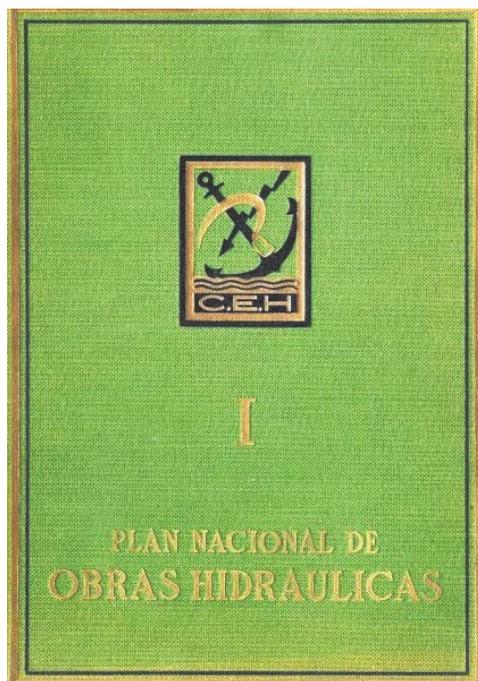


Fig. 8. Portada del tomo primero del Plan Nacional de Obras Hidráulicas de 1933.

En un plazo asombrosamente breve de dos meses —que da idea de lo formada que tenía la opinión a este respecto el autor— Ximénez de Embún redacta el anejo XII del Plan Nacional de Obras Hidráulicas, titulado “La repoblación forestal en sus relaciones con el régimen de los ríos” (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1933a) (fig. 8). Aunque el Plan de Lorenzo Pardo se vio envuelto de inmediato en una acerba polémica política (ORTEGA CANTERO, 1992: 359-363), los anexos especializados quedaron al margen de las discusiones (GIL OLCINA, 2001: 14) y en particular la parte forestal suscitó un notable interés en el Cuerpo de Ingenieros de Montes, como prueba el hecho de que algunos de sus capítulos fueron reproducidos en el *Boletín de la Dirección General de Montes* (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1934a y 1934b).

El anejo XII del Plan Hidráulico de 1933 es, verdaderamente, un primer ensayo de un Plan Nacional de Repoblación Forestal. Sus objetivos repobladores van mucho más allá de las meras tareas de apoyo a unas obras concretas de regulación y embalse del agua de los ríos, puesto que planifica la

replantación forestal “urgente”, y solo por motivos hidrológico-forestales, de más de 2 700 000 hectáreas, si bien no le parece fácil que “en mucho tiempo” pueda establecerse en España un ritmo anual de replantación de más de 25 000 a 30 000 hectáreas (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1933a: 394 y 450). Era una superficie sensiblemente menor que los 3 000 000 de hectáreas que se proponían en los *Ensayos forestales* (XIMÉNEZ DE EMBÚN y AZPEITIA, 1931: 19), pero el propio Plan de 1933 señalaba que “no hay dificultad para encontrar 5 000 000 de hectáreas que pueden ser repobladas, desde luego” (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1933a: 383).

Solo la obligada brevedad impuesta por la circunstancia de constituir un mero anejo de un plan fundamentalmente hidráulico le impide abarcar la totalidad de los problemas y de las propuestas que Ximénez de Embún había ya señalado en sus trabajos anteriores. Y el autor mismo señala, con su habitual entusiasmo, que desea hacer un plan exclusivamente forestal cuanto antes:

[Los datos recabados para este Plan] podrían ser utilizados con más fortuna si se acomete la formación del plan detallado de restauración forestal de España, que, ateniéndonos al entusiasmo y conocimiento que hemos tenido la fortuna de comprobar en todos los organismos de nuestro Cuerpo [de ingenieros de Montes], podría quedar ultimado en plazo reducidísimo. (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1933a: 452)

Hay otras dos circunstancias relevantes en la participación de Ximénez de Embún en el Plan de 1933. En primer lugar, Florentino Azpeitia tuvo un conocimiento detallado del trabajo de Joaquín, dado que, desde 1932, era miembro del Consejo de Obras Públicas. Y, por otra parte, Ximénez de Embún completó su previo bagaje intelectual gracias a la colaboración de dos destacados botánicos vinculados al Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias: el ingeniero de Montes Luis Ceballos y Fernández de Córdoba y el ayudante de Montes —aragonés, por cierto, puesto que era bilbilitano— Carlos Vicioso Martínez. Ambos le iniciaron en las entonces nuevas orientaciones de la geobotánica y de la ecología vegetal, como se señala expresamente en el propio Plan:

En los últimos años, las nuevas orientaciones respecto a ecología y al auxilio que para el estudio de las asociaciones vegetales proporcionan las fórmulas fitoclimáticas, como las de Emberger y otros, facilitan mucho el conocimiento de aquellos terrenos [forestales], y existen ya en España muy interesantes investigaciones en este sentido. El tiempo disponible nos veda

usar aquí de los datos que, con un rasgo que bien claramente demuestra su modestia y el afecto sincero que nos procesa, puso a nuestra disposición nuestro compañero Sr. Ceballos, ni los que eficazmente auxiliados por el inteligente fitógrafo y ayudante de Montes Sr. Vicioso hemos podido obtener. (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1933a: 452)

Ya apuntaba Ximénez de Embún, por tanto, la conveniencia de contar con los conocimientos de Ceballos cuando se redactara el Plan Nacional de Repoblación que ya iba pergeñando en su mente. Y poco después de la publicación del Plan de 1933, Ximénez de Embún da a la imprenta dos artículos más donde reclama, otra vez, renovación: en este caso, de la propaganda forestal, que considera ha de abandonar la poesía decimonónica para centrarse en las grandes ventajas económicas y sociales de la repoblación, buscando de este modo el apoyo político imprescindible para llevar a la realidad objetivos tan ambiciosos como los que acababa de establecer el Plan Lorenzo Pardo (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1933b y 1934c). En palabras del autor, había que actuar “refrenando los lirismos y dando paso a los números” (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1933b: 193).

*La parte forestal del Plan General de Obras Públicas:
el Plan Azpeitia (1938)*

Como señala PÉREZ-SOBA (2015: 67), durante la Guerra Civil y tras ella, tomó la dominancia, dentro del Cuerpo de Ingenieros de Montes, una nueva generación de ingenieros, que no habían ocupado puestos relevantes en los regímenes políticos anteriores. Esa generación ya no era la de Ximénez de Embún, sino la de Miguel Ganuza y de Florentino Azpeitia. Según GIMÉNEZ-ARNÁU (1998), autor que por cierto confunde la profesión de Ganuza al creerle ingeniero de Caminos, Miguel Ganuza había hecho amistad en Zaragoza con Ramón Serrano Suñer —cuñado del general Franco y “hombre fuerte” del nuevo régimen, hasta su destitución en 1942— con quien compartía una tertulia en el Casino Principal. Ello explica que Ganuza fuera nombrado en junio de 1937, solo dos meses después del bombardeo de Guernica, para un cargo tan delicado como el de gobernador civil de Vizcaya.

Quizá por ese ascenso de Ganuza en el régimen, Florentino Azpeitia recibe en ese mismo año de 1937 el encargo de redactar la parte forestal del Plan General de Obras Públicas, conocido como *Plan Peña* por su director,

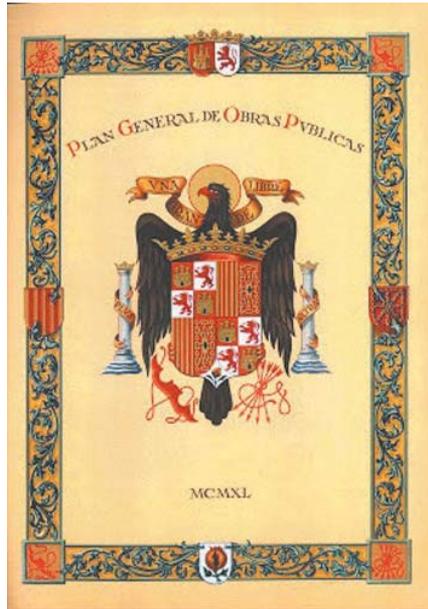


Fig. 9. Portada del Plan General de Obras Públicas redactado en 1938 y publicado en 1940, conocido como *Plan Peña*.

el ingeniero de Caminos Alfonso Peña Boeuf, que fue ministro de Obras Públicas en 1938-1945. Dicho Plan se acabó de redactar en 1938 y fue publicado en 1940 (fig. 9).

Esta parte forestal es, de nuevo, incluida dentro del tomo del Plan dedicado a las obras hidráulicas, pues no debe olvidarse que en la nueva organización de la Administración la política hidráulica ha quedado claramente escindida de la política forestal y se ubica en distintos ministerios: las confederaciones hidrográficas y la Administración hidráulica quedan enclavadas en el de Obras Públicas, mientras que tanto la Dirección General de Montes como la que se crea en 1941 para el Patrimonio Forestal del Estado quedan en el de Agricultura. Por decirlo de alguna manera, la repoblación, que era coprotagonista en el Plan de 1933, es ahora solo una invitada en el Plan de 1938. Y ello se nota en la definición de objetivos cuantitativos, ya que el Plan de Azpeitia no hace, como el de Ximénez de Embún de 1933, una estimación de todos los trabajos de repoblación que serían convenientes llegando a una cifra de millones de hectáreas, sino que pide lo

que entiende que se puede conseguir: “como indicación que parece imprescindible tener presente al comenzar un plan en el que no siendo posible comprender todos los trabajos forestales convenientes, ni aun los necesarios, desde un punto de vista hidrológico, ha de ser preciso hacer un prorrateo entre las necesidades más urgentes” (COMITÉ DIRECTIVO DE OBRAS PÚBLICAS, 1940: 41). Por ello, lo que propone Azpeitia es la repoblación inaplazable de 213 175 hectáreas, de las cuales más de la tercera parte (70 000 hectáreas) se sitúan en la cuenca del Ebro (MARTÍN LOBO, 2014: 30).

Así se entiende que Azpeitia también señale que el Plan de Obras Públicas no suple la falta de un Plan Nacional de Repoblación Forestal que dependa del Ministerio de Agricultura: “El plan que, siguiendo las expresadas normas, formemos debe entenderse bien claramente que no intenta ser un plan general de repoblación forestal de España, ni puede suplir de ningún modo a ese plan, que, por desgracia, no existe, ni puede siquiera aspirar a que, si como es de desear por muchos conceptos, el plan general se llega a establecer, tenga este que supeditarse a la ejecución del que con manifiesta falta de antecedentes formamos” (COMITÉ DIRECTIVO DE OBRAS PÚBLICAS, 1940: 38). Los acontecimientos posteriores le darían la razón, ya que aun esos objetivos repobladores autolimitados del Plan de Obras Públicas fueron sistemáticamente preteridos en la aprobación oficial. En efecto, para marcar una diferencia con respecto a otros planes anteriores no aprobados ni cumplidos, se quiso aprobar formalmente el Plan Peña mediante la Ley de 11 de abril de 1939, la cual establecía en las obras hidráulicas una clasificación en cuatro grupos, según su preferencia: las obras de los tres primeros podían ejecutarse simultáneamente, mientras que las del cuarto no se podían realizar sin “formular proyectos más adecuados”. Pues bien, los principales planes forestales propuestos por Azpeitia (cuencas del Ebro, Duero, Tajo y Guadalquivir, que suman 194 000 hectáreas) son clasificados todos ellos en el grupo cuarto; y solo los dos planes menores (cuencas del sur de España, con 14 000 hectáreas, y cuenca del Guadiana, con 5 000 hectáreas) se clasifican en los grupos primero y segundo.

El Plan General de Repoblación Forestal de España (1938-1939)

El acceso de Azpeitia a la Jefatura del Servicio Nacional de Montes le dio por fin la oportunidad de concretar la redacción de ese Plan General de

Repoblación tan ansiado. Dado que, evidentemente, no lo podía hacer él mismo, la persona idónea era a todas luces Ximénez de Embún, a quien se le formaliza dicho encargo mediante la Orden del Ministerio de Agricultura de 21 de junio de 1938 (*BOE*, n.º 609, de 23 de junio de 1938), la cual señala expresamente que la propuesta es de Azpeitia:

Urgente e inaplazable la necesidad de confeccionar un Plan General de Repoblación Forestal de España, que permita llevar a la práctica uno de los puntos programáticos del Estado Nacional-Sindicalista, de conformidad con lo propuesto por esa Jefatura [del Servicio Nacional de Montes], dispongo: 1.º Se confiere el encargo de confeccionar el referido Plan al Ingeniero Jefe del Distrito Forestal de Soria, don Joaquín Ximénez de Embún y Oseñalde, que tendrá para ello a sus órdenes y como colaborador al Ingeniero afecto al Distrito Forestal de Ávila don Luis Ceballos y Fernández de Córdoba, significando la conveniencia de dejarlo ultimado y presentado en este Ministerio dentro del corriente año.

Varios aspectos de esta breve Orden merecen ser subrayados. En primer lugar, la alusión que hace a los puntos programáticos de la Falange Española de las JONS, que son los veintisiete puntos aprobados por el Consejo de dicha organización en 1934, veintiséis de los cuales fueron asumidos como propios por el régimen del general Franco. Esa alusión se refiere en concreto al punto 20.º, que contenía una apuesta por la repoblación forestal tan decidida que llegaba a ser amenazante: “Emprenderemos una campaña infatigable de repoblación ganadera y forestal, sancionando con severas medidas a quienes la entorpezcan e incluso acudiendo a la forzosa movilización temporal de toda la juventud española para esta histórica tarea de reconstruir la riqueza patria”. Pero, como ha quedado claro en estas páginas, redactar el Plan General de Repoblación no era una idea original del nuevo régimen, sino que tenía una evidente continuidad con las épocas de Primo de Rivera y de la República. Más bien parece que la Orden alude a los puntos programáticos de la Falange para justificar más fácilmente el encargo, adaptándose a la terminología de la época. En segundo lugar, destaca la expresa designación de Ceballos como colaborador de Ximénez de Embún: es claro que este guarda la idea de recoger ampliamente en el Plan Nacional de Repoblación los estudios geobotánicos y fitosociológicos que tanto le impresionaron al redactar el Plan de 1933. Y por último, llama la atención, de nuevo, lo breve del plazo que —aunque de manera solo indicativa— se establece: seis meses casi exactos.

Pero si alguien había demostrado que podía hacer un plan nacional de repoblación contra el reloj, era Ximénez de Embún. El Plan completamente terminado fue firmado por sus autores, Joaquín Ximénez de Embún y Oseñalde y Luis Ceballos y Fernández de Córdoba (fig. 10) en Soria, en enero de 1939, muy poco después, por tanto, del fin del plazo otorgado. En noviembre de 1940, casi dos años tras la entrega, ambos autores recibieron del Ministerio una gratificación económica por su trabajo. Aunque parece ser que el Ministerio de Agricultura hizo gestiones para publicar el Plan, el caso es que permaneció inédito durante cincuenta y siete años, hasta su edición primera, y única hasta el momento, hecha en 1996.

Se da la curiosa circunstancia de que el ejemplar mecanografiado del Plan original que se conserva en la biblioteca de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de Madrid cuenta con una dedicatoria manuscrita del propio Ximénez de Embún, firmada y fechada el 29 de diciembre

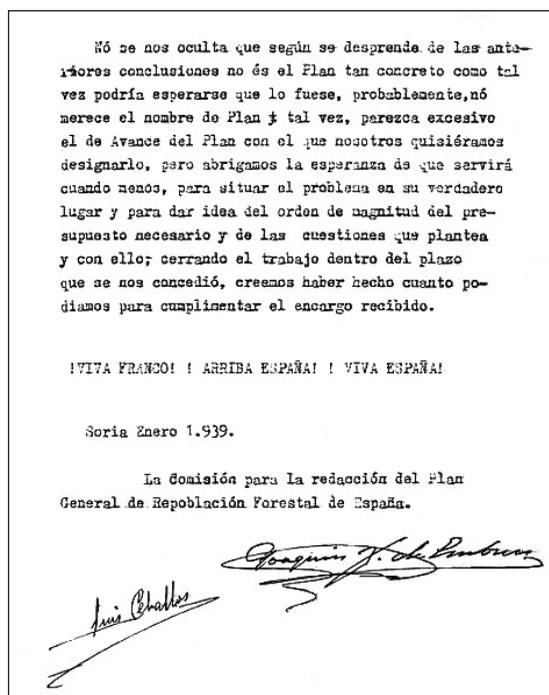


Fig. 10. Última página del ejemplar del Plan General de Repoblación Forestal de España que se conserva en la Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (Foto: Salustiano Iglesias)

de 1947, que conocemos gracias a nuestra compañera Inés González Doncel, y que no nos resistimos a reproducir en este artículo: “Examinado este mamotreto después de pasados casi 10 años veo claramente que salvo los capítulos de que es autor Ceballos, lo demás es una pura birria que no me explico cómo me atreví a presentar”.

A estas alturas del trabajo, ya vamos conociendo la personalidad apasionada, franca y autoexigente de Ximénez de Embún, y nos extrañará menos que juzgue su propio trabajo con una dureza tan extrema que es francamente cómica, de la misma manera que extremadamente trató a su hermano Miguel cuando este tuvo la mala suerte de tenerle como profesor. Por otra parte, debemos tener presente que esa dedicatoria se escribe en un ejemplar que se deja a disposición de otros ingenieros de Montes: al fin y al cabo, es una opinión desenfadada expresada ante compañeros. Y también que, en esa época, consta que Ximénez de Embún sentía que su Plan no había sido apreciado como debiera, y es posible que se sintiera desplazado con respecto a la actuación del PFE, organismo en el cual, como hemos visto, estuvo solo unos pocos meses. En uno de sus escritos inéditos redactados para el Consejo Forestal, llega a hablar, si bien incidentalmente, de “nuestro despreciado Plan de Repoblación Forestal de España” (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1944a).

En fin, y en conclusión: como hemos ido y seguiremos viendo a lo largo de este artículo, la parte de Ximénez de Embún en el Plan no es, ni mucho menos, una “pura birria”, sino un buen encuadre del problema. Aunque solo fuera por el aspecto cuantitativo, hay que subrayar la extraordinaria diferencia de este Plan de 1939 con respecto a todos los que le habían antecedido: tiene como objetivo repoblar 6 000 000 de hectáreas en cien años, con un presupuesto estimado de 2784 millones de pesetas, incomparablemente más de todo lo que hasta ese momento se había planeado. En nuestra opinión, es mucho más acertado el juicio que el mismo Plan contiene en su introducción y que, siendo muy autocrítico, también señala —creemos que con más lucidez y menos apasionamiento— las virtudes del documento:

Estamos bien lejos de quedar satisfechos del resultado que logramos [...] sabemos que no es un Plan, sino a lo sumo un avance para la confección de un Plan, pero no obstante, creemos que ha de ser útil si como esperamos hemos logrado por lo menos encuadrar el problema en su sitio respecto a la economía nacional y presentar sus verdaderas proporciones, y en realidad,

ni demuestra insuficiencia personal respecto al encargo que se nos dio, ni del reducido plazo concedido para cumplirlo podía esperarse cosa mayor, a pesar de haber puesto en su cumplimiento toda nuestra voluntad. (XIMÉNEZ DE EMBÚN y CEBALLOS, 1939: 13)

Hablamos de “la parte de Ximénez de Embún en el Plan” porque esa dedicatoria tan curiosa contiene un matiz muy relevante sobre el modo en que el documento fue redactado: los autores se repartieron el trabajo por capítulos. Hay “capítulos de que es autor Ceballos”, luego el resto son “capítulos de que es autor Ximénez de Embún”. Sin ánimo de hacer un análisis exhaustivo, parece muy claro que de Ceballos son los capítulos 1 (“Nociones generales”, donde se contiene su célebre tabla de sucesión vegetal), 2 (“Recopilación de noticias referentes a estadísticas y geografía forestal de España”) y 9 (“Características regionales de la repoblación forestal”). La suma de las páginas que ocupan estos tres apartados en la edición del Plan hecha en 1996 alcanza las 222 de un total de 339: casi un 66% de la extensión, lo que justifica, desde luego, que Ceballos firmara como coautor. Pero supone también a la inversa que los otros trece capítulos —si no contamos el de conclusiones, que cabe entender atribuible a ambos—, mucho más breves, pero también de una temática mucho más completa y más relacionada con los aspectos prácticos de la planificación, se deben con bastante probabilidad a Ximénez de Embún.

ALGUNAS DE LAS BASES DE LA IDEOLOGÍA REPOBLADORA DE JOAQUÍN XIMÉNEZ DE EMBÚN Y DE FLORENTINO AZPEITIA

Si debiéramos sintetizar en una palabra la ideología repobladora de Ximénez de Embún y de Azpeitia, sería la de “integración”. Con llamativa frecuencia, llaman a huir de polémicas teóricas y centrarse en prácticas útiles, realistas y de fácil consenso: “Como ocurre casi siempre, la razón es de todos en parte y de ninguno en absoluto” (XIMÉNEZ DE EMBÚN y AZPEITIA, 1931: 15). “Repugna a nuestra pluma [...] adentrarnos en consideraciones que fueron de antiguo objeto de polémicas, en las que vence el que posee mayores recursos dialécticos y no el que sostiene el tema de mayor certeza” (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1933a: 388). En los apartados siguientes, iremos viendo de qué manera entendían nuestros autores que debían quedar apartadas, por superadas, las principales polémicas que desde hacía décadas

afectaban a la repoblación forestal, y que aparentemente impedían la aplicación de un plan ambicioso de repoblación.

Una repoblación forestal inserta en la ordenación del territorio

Todo lo que se expone en los escritos sobre repoblación forestal de estos dos ingenieros de Montes aragoneses gira alrededor de la idea de que la repoblación forestal está inserta en un problema global: “aun tratándose de repoblación forestal, no se puede, para acometerla intensamente, pensar exclusivamente en ella” (XIMÉNEZ DE EMBÚN y AZPEITIA, 1931: 16). Por tanto, la repoblación debe basarse en una verdadera ordenación agrohidrológica del territorio rural, en la que todos los intereses sociales y económicos implicados deben estar adecuadamente considerados.

Entre 1926 y 1931, Ximénez de Embún identifica totalmente esa visión integradora y global con la idea que entiende que dio origen a las Confederaciones Hidrográficas, y que él, desde luego, vivió con entusiasmo e ilusión en la Confederación del Ebro. El ejemplo de las confederaciones, en especial de la del Ebro, y las ideas de Lorenzo Pardo son citados una y otra vez en todas las obras de Ximénez de Embún:

El Servicio de las Confederaciones representa la implantación de una nueva política, nueva no solo en España, sino en todas partes, nueva no por su orientación fundamental, pero sí por los medios que ponen práctica para su implantación, y por ser nueva puede abrigar la esperanza de remover aquellos obstáculos tradicionales que todavía permanecen en pie en todas partes, como prueba de la ineficacia de los medios aplicados hasta el día y de la necesidad de acudir a procedimientos distintos. (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1928c: 21-22)

La verdad es que, tanto teórica como prácticamente, la labor de la Confederación del Ebro en esos años supone un verdadero ejemplo de ordenación agrohidrológica integral del territorio (FRUTOS, 1999; IBARRA y DE LA RIVA, 2003; IBARRA y cols., 2008), concepción global que se expresa múltiples veces en las palabras de Manuel Lorenzo Pardo, como en su conferencia en el Instituto Geográfico y Catastral:

[El fin al que atiende la Confederación] no es el riego, ni el canal industrial, ni la instalación de la gran turbina, ni el río navegable, como tampoco lo son el campo, la mina, la industria o el bosque por sí mismos, sino el

conjunto armónico de todo ello en la precisa proporción, que ha de conducirnos a la máxima producción integral de la cuenca, a su prosperidad mayor y más duradera. Claro es que este ideal no es característico de la Confederación, es el ideal de toda política constructiva. (LORENZO PARDO, 1928: 73)

Este entusiasmo lleva a Ximénez de Embún y a Azpeitia a afirmar en los *Ensayos forestales* que no es posible la restauración forestal de España sin las confederaciones hidrográficas: “los hechos que presentamos son tan claros que, tal vez, por sí mismos, basten a llevar al ánimo del lector el convencimiento que compartimos de que, tal vez, ni aun con las confederaciones sea posible realizar una labor intensa de repoblación forestal, pero al menos resulta evidente que sin ellas es imposible el intento” (XIMÉNEZ DE EMBÚN y AZPEITIA, 1931: 4). Resultaba un tanto exagerado; en realidad, dicha afirmación incurría en una metonimia, comprensible, de confundir el fin con el medio, y la parte con el todo. De hecho, solo la Confederación del Ebro se había acercado a ese ideal integrador, y de hecho continuó su actividad forestal de manera relevante hasta 1946, fecha a partir de la cual decae muy notablemente (CARRANZA, 1946; IBARRA y cols., 2008: 644). En las demás Confederaciones, los resultados fueron desiguales: desde resultados muy apreciables en las del Guadalquivir, del Duero o de Canarias, hasta otras donde ni siquiera se crearon servicios forestales. El propio Ximénez de Embún matizó después de la guerra esa afirmación de 1931:

La que realmente abrió el camino para la realización de un programa importante de repoblación forestal fue la creación de las Confederaciones Sindicales Hidrográficas tal y como las concibió el conde de Guadalhorce y tal y como realizó su implantación para la cuenca del Ebro, D. Manuel Lorenzo Pardo. No solo ofrecía aquella ley la novedad de una coordinación de la repoblación forestal de las cuencas hidrográficas y de su aprovechamiento hidráulico, sino que representando un modo especial de ordenación de la economía según las características de cada cuenca y una especial forma de descentralización administrativa, abría el camino para resolver conjuntamente los problemas de producción del suelo, dando al monte el papel que corresponde para llegar al reajuste de la distribución del suelo entre los aprovechamientos agrícolas, los ganaderos y los forestales, hecho al que concedimos tanta importancia que, pensando en él, nos atrevimos a decir que la repoblación forestal de España era un problema erizado de tantas dificultades que puede ser que su realización no se lograra completamente con las Confederaciones Hidrográficas, pero al menos se podía afirmar que sin la orientación que ellas señalaban la repoblación forestal de España es imposible. (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1944b)

Lo que el autor trataba de destacar, por tanto, no era la Confederación en sí, sino “la orientación que señalaba”, su modo integrador de concebir y ejecutar la repoblación. Y esta visión es la que con toda claridad preside el Plan de 1939, desde su misma exposición de propósitos:

[El Plan trata] de conseguir en efecto, todas aquellas aspiraciones [de repoblación], pero conseguir las sin perjuicio de todas las demás de índole no forestal que es preciso lograr, o, por lo menos, conseguir las con la seguridad de que los perjuicios inevitables que con ella experimenten otras producciones de carácter agrícola o pecuario, resultarán con la repoblación forestal, ampliamente compensadas, resultando un manifiesto beneficio para la economía nacional. Por ello, precisa una visión de conjunto, no solo de las necesidades y posibilidades forestales en sí misma, sino de estas en relación con las demás producciones de España y con los hábitos de su población, y este estudio de conjunto es precisamente lo que nosotros entendemos por Plan General de Repoblación y lo que deseamos que llegue a ser el presente estudio. (XIMÉNEZ DE EMBÚN y CEBALLOS, 1939: 11-12)

La relación entre las obras hidráulicas y las forestales

Una de las polémicas más agudas que había afectado a la repoblación forestal en las décadas de 1910 y de 1920 era el debate hidráulico-forestal, estudiado por GÓMEZ MENDOZA (1989), y que se ejemplifica en una enconada discusión sostenida durante años (entre 1913 y 1920) por el ingeniero de Montes Nicolás Ricardo García Cañada —compañero de Ximénez de Embún en la Sexta División Hidrológico-Forestal, y su jefe en la efímera Novena División— y el ingeniero de Caminos Pedro González Quijano. Esta polémica enfrentaba a los partidarios de las grandes obras hidráulicas en los cauces (González Quijano) con los defensores de la naciente hidrología forestal (García Cañada), que sin negar el valor de dichas obras, señalaban que eran inútiles, o poco útiles, si no se complementaban con actuaciones de carácter forestal en las partes altas y medias de las cuencas de alimentación. Lo que subyacía en el debate era, en última instancia, la lucha por la mayor parte posible del presupuesto para obras públicas.

Como ya expusimos en otro artículo (PEMÁN y PÉREZ-SOBA, 2013: 106), Pedro Ayerbe, jefe de Ximénez de Embún en la Sexta División, señaló lo falso de esta polémica en varios escritos de comienzos de la década de 1910 (AYERBE, 1912, 1913), en los que afirmaba lo que hoy parece obvio: que las

obras hidráulicas en los cauces y las hidrológico-forestales en las cuencas son soluciones complementarias entre sí. En este sentido, la aportación de Ximénez de Embún y Azpeitia resulta menos original, pero también es relevante, ya que lleva al máximo la teoría integradora de Ayerbe, afirmando ya no solo la complementariedad de las obras hidráulicas y las forestales, sino su armonía, consiguiendo convencer por completo a un ingeniero de Caminos tan eminente como Lorenzo Pardo.

Y es que la íntima relación que establecen ambos autores entre las obras hidráulicas y las de repoblación forestal no se limita a sus efectos sobre el ciclo hidrológico (como la corrección de la erosión o la laminación de las avenidas), sino también a la economía y la ordenación integral de un territorio: “El esfuerzo [repoblador] que se exige es sin duda grande, pero el dilema está claramente planteado; o se lleva a cabo, o debemos hacernos a la idea de que nuestra economía ha de organizarse sobre la poca halagüeña base de explotación de regadíos, que la erosión de las montañas se encargará a su vez de reducir, separados entre sí por extensos desiertos” (XIMÉNEZ DE EMBÚN y AZPEITIA, 1931). La conclusión es clara: resulta absurdo, incluso desde el punto de vista económico y social, postergar la repoblación forestal para atender gastos de construcción de embalses o de creación de regadíos: “tan pronto como el problema hidráulico quiera hacerse independiente del forestal, no solo será imposible la mejora de nuestros montes, sino que estos continuarán desapareciendo” (*ibidem*: 32).

Hasta su última publicación conocida, Joaquín no dejó de alertar sobre la función hidrológica de los montes, contra el abandono en que había caído el concepto de *zona forestal de protección*, y sobre la necesidad de coordinar las prácticas ganaderas con las forestales (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1945).

La compatibilidad de la repoblación con la ganadería y los aprovechamientos de subsistencia

Este último aspecto nos introduce en otro de los principales obstáculos que se alzaban ante la posibilidad de realizar programas relevantes de repoblación forestal: la necesidad inexcusable de acotar al pastoreo durante varios años las superficies repobladas, para evitar que las plántulas recién instaladas fueran devoradas por el ganado, lo cual entraba en abierto conflicto con los

aprovechamientos ganaderos de casi todos los pueblos. Es esta una de las preocupaciones más reiteradas de Ximénez de Embún, y que trata, como hemos visto, en publicaciones que van desde 1912 a 1945, partiendo siempre de una notabilísima preocupación por el deplorable nivel de vida que padecen los campesinos españoles, con los que él ha compartido muchos días, durante muchos años (fig. 11):

Mirando la vida del jornalero en los pueblos de nuestras sierras, ¿quién no se sintió a un tiempo asombrado y compadecido, al contemplar la casi inconcebible frugalidad de aquella gente? Un trozo de pan moreno y un puchero de judías aderezado con sebo es, cuando más dos veces al día, el



Fig. 11. Fotografía tomada por el ingeniero de Montes Enrique Mackay, con la que la revista *España Forestal* ilustraba uno de los artículos de Ximénez de Embún acerca de la miseria en que vivían las poblaciones montañosas. (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1928a: 20)

sustento con que reparan las fuerzas perdidas en el trabajo. Unos harapos [...] nos dan la sensación engañosa de proteger los cuerpos de estas gentes. (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1925: 150-151)

Por tanto, no se podía afirmar sin matiz alguno la incompatibilidad de la repoblación forestal con la existencia de las ganaderías locales, aunque solo fuera porque “aquella ganadería constituye el principal patrimonio de muchas gentes que viven miserablemente” (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1933a: 384). Y lo mismo sucedía con otras formas tradicionales de explotación, que, siendo evidentemente perjudiciales para la conservación de los montes, aseguraban la subsistencia de las comunidades montañosas, como era el caso de las roturaciones arbitrarias:

Todos los terrenos que se quieren repoblar, producen actualmente poco [...] pero producen algo: en pastos de ínfima calidad, en leñas de mata baja o en míseras cosechas, recogidas sobre roturaciones hoy cultivadas y mañana abandonadas [...] y aquella producción mezquina, pero insustituible hoy [...] coloca en trance de perecer a la población que ya actualmente vive en la estrechez. Nada parece posible variar sin ocasionar hondas perturbaciones. (XIMÉNEZ DE EMBÚN y AZPEITIA, 1931: 21)

El resumen que contienen los *Ensayos forestales* del estado de la discusión sobre los aprovechamientos comunales es muy aguda e inteligente, a nuestro juicio:

[La utilidad del aprovechamiento comunal] ha sido muy diversamente considerada, según los tiempos y el punto de vista del tratadista, y así se calificó como causa de ruina de los montes (Olazábal D. Lucas), como insustituible necesidad para la vida de los pueblos (Costa), como obstáculo difícil de salvar para su restauración sin chocar con los legítimos intereses a que sirven, como el más perfecto sistema de utilización (Lleó), pero sin reparar suficientemente: unos, en que la destrucción proviene de abusos corregibles y no del carácter de la propiedad; otros, que su utilidad real es consecuencia de una organización económica deficiente; otros, que si el monte no se presta bien a un aprovechamiento individual y exige cierta organización colectivista, poco tiene esto que ver con el aprovechamiento común que hoy se practica, y otros, en fin, que aquella dificultad de restaurar tales montes porque no se puede prescindir hoy de sus servicios estriba en la desconexión entre el problema de restauración forestal y la evolución hacia una organización más favorable. (*Ibidem*: 21-22)

La cita del párrafo anterior a Lucas de Olazábal y Altuna es digna de ser analizada. Este eximio ingeniero de Montes vasco, a quien se considera “el

padre de la ordenación de montes en España”, ejerció una gran influencia en la ingeniería de Montes española de finales del siglo XIX y comienzos del XX, a través de numerosas publicaciones, y desde sus puestos tanto de profesor de la Escuela de Montes como de presidente de la Junta Facultativa del Cuerpo (GONZÁLEZ ESCRIG y MORCILLO, 1999). En su doctrina forestal, Olazábal —que a veces tenía un modo de expresarse bastante brusco— hace críticas muy duras del pastoreo y se muestra casi totalmente opuesto al aprovechamiento comunal de los montes (GÓMEZ MENDOZA, 1992: 29-30). Por eso, Ximénez de Embún creyó al principio que su preocupación por compatibilizar pastoreo y repoblación se oponía a la doctrina que había aprendido en la Escuela de Montes, y así se dolía de “la insistencia con que en nuestra Escuela oímos siempre declarar la incompatibilidad del pastoreo con la producción de un modo regular y permanente de madera” (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1912: 14). Pero en el Plan de 1933 se da cuenta de que la respuesta estaba en la propia doctrina de Olazábal, leída en su integridad: “según frase de D. Lucas Olazábal, no es espacio, sino orden, lo que en España falta para que paralelamente puedan vivir y desenvolverse prósperamente los montes y la ganadería” (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1933a: 384).

La solución, como en tantas otras polémicas tratadas por los autores que analizamos, estaba en un justo medio. Ya Ximénez de Embún, en sus primeros escritos sobre la materia de 1912 y 1915, hacía hincapié en la realización de mejoras ganaderas y en la reglamentación del pastoreo. En los escritos de la década de 1930 expresa, sin embargo, su convencimiento de que son solo una parte de la solución, y además una parte no siempre fácil de realizar: la solución integral consiste en promover el desarrollo rural a nivel comarcal, lo cual permitirá disminuir la total dependencia del campesinado de los aprovechamientos desordenados del monte. En este sentido, el Plan de 1933 subrayaba que la promoción del regadío en las zonas de llanura mejoraría la economía agraria comarcal, y permitiría descargar la presión sobre las sierras, que de ese modo se podrían repoblar: “La ejecución del plan de repoblaciones forestales debe coordinarse con el de mejoras hidráulicas, para que los trabajos forestales se ejecuten de preferencia en los puntos de máximo beneficio para las obras hidráulicas y para lograr ventajas de carácter social, [...] para obtener en el regadío las compensaciones precisas a los recursos que la repoblación reste a la ganadería” (*ibidem*: 394).

La expresión más madura del pensamiento de Ximénez de Embún a este respecto se contiene en los capítulos 3 (acerca de los comunales) y 5 (acerca del pastoreo, que lleva el expresivo título de “El propósito y sus dificultades”) del Plan de 1939. Para los aprovechamientos comunales, propone su regularización y modernización, gestionándolos mediante fórmulas cooperativas: “No se trata de elegir uno de los distintos regímenes de propiedad de los montes, sino de conservarlos todos, porque en efecto cada uno de ellos satisface determinados servicios sociales, pero es preciso condicionarlos todos, superponiendo a ellos una organización sindical que conservando los servicios sociales peculiares de cada régimen de propiedad los encamine a todos por los cauces obligados para conseguir el máximo interés general” (XIMÉNEZ DE EMBÚN y CEBALLOS, 1939: 169). Y aclara el autor que su propuesta de organización sindical forestal no es una oportunista aproximación al sindicalismo del nuevo régimen, sino que cita los *Ensayos forestales* para recordar que venía de lejos (fig. 12).

En cuanto al capítulo dedicado al pastoreo, además de aportar experiencias de otros países europeos (Francia, Suiza, Italia, Portugal y Grecia), va desgranando distintas vías complementarias para asegurar la búsqueda compatibilidad con la restauración forestal: repoblar de manera paulatina, de

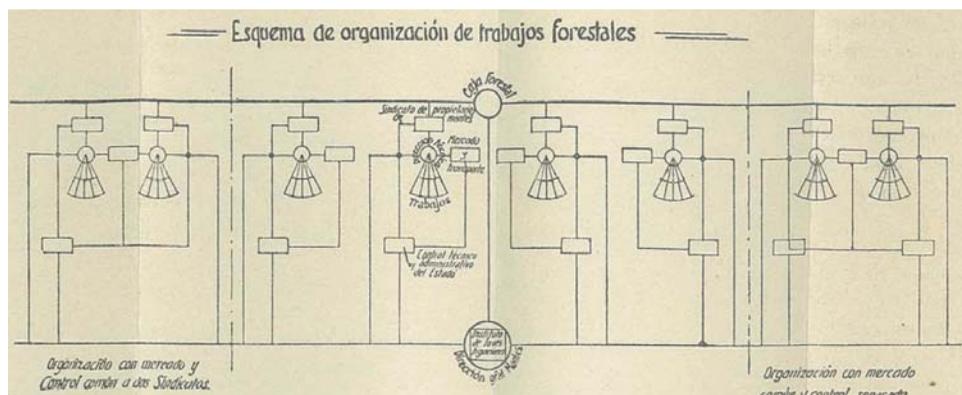


Fig. 12. Esquema de organización sindicalizada de la propiedad y de los trabajos forestales (XIMÉNEZ DE EMBÚN y AZPEITIA, 1931: 86). Cada uno de los sectores que ocupa el lugar designado con la palabra *trabajos* representa una demarcación de montes, cuya dirección técnica corresponde a un ingeniero y cuyos propietarios forman una cooperativa, las cuales a su vez constituyen un sindicato de propietarios, que sería también organismo de conexión con las demás producciones no forestales.

modo que no coincidan demasiados acotados simultáneamente; aumentar la producción por hectárea de los pastizales mediante las mejoras necesarias; o fomentar ordenadamente el cambio en la composición de la cabaña ganadera, aspecto este último en el que —obviamente— ve muchas dificultades, aunque cita como ejemplo la acción desarrollada por la Diputación de Pontevedra para facilitar la acción repobladora. No obstante, es plenamente consciente de que, aunque hay soluciones, no las hay mágicas ni generales: “no hay pues que entregarse, ni a un desordenado optimismo, ni a un demolidor pesimismo” (XIMÉNEZ DE EMBÚN y CEBALLOS, 1939: 221).

Con este tipo de iniciativas de fomento, ordenación y regulación, se pretende superar los sistemas basados solo en medidas coercitivas, porque han fracasado: “Muchos años de aplicación poco fructífera de medidas coercitivas y de una visión restringida del problema, mirando al monte en sí mismo más que a sus relaciones con los demás elementos de la economía nacional, condujeron, por fin, en todas partes al reconocimiento más o menos completo de que un cambio de táctica era necesario” (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1928c: 20). Pero hay que subrayar que en la misma página que contiene la frase que se acaba de citar, el autor no excluye acudir también a medidas coercitivas: “las Confederaciones a ese apostolado [forestal] unen la fuerza ejecutiva y facilitan cuando faltan los medios necesarios, llegando a la coacción si la coacción es precisa, para evitar el daño que a todos pudiera producir el egoísmo de algunos”. Recordemos que esto se escribe en 1928, en la época de máxima actuación global e integradora de la Confederación del Ebro. Incluso en ese contexto, Ximénez de Embún contempla también la fuerza compulsiva de la Administración forestal como una herramienta más de la ordenación del territorio, a usar en caso necesario.

La participación social en la repoblación forestal

De acuerdo con las doctrinas de Olazábal, asumidas en su día por la Junta Facultativa del Cuerpo de Ingenieros de Montes a la hora de proponer el plan sistemático de repoblación de cuencas hidrográficas de 1888, el Estado debía ser el único ejecutor de las repoblaciones forestales y, consiguientemente, el propietario —o al menos, el poseedor absoluto— de todos los terrenos restaurados (OLAZÁBAL, 1888: 561-562). Sin embargo, la sempiterna penuria de los presupuestos forestales había hecho imposible que el Estado

desempeñara papel tan predominante, lo que había llevado, en las décadas de 1910 y 1920, a buscar la implicación de la sociedad en su conjunto en la repoblación de los montes, mediante iniciativas muy distintas: haciendo obligatoria la Fiesta del Árbol en todos los municipios españoles (SIERRA, 2011), ofreciendo premios a la repoblación desarrollada en montes privados, o incluso permitiendo a los particulares la ocupación temporal de los montes públicos a cambio del pago de un canon anual y del compromiso de repoblarlos (Real Decreto de 21 de septiembre de 1922 y sus instrucciones aprobadas mediante Real Orden de 8 de noviembre siguiente). Pero de nuevo se obtuvieron unos resultados francamente exiguos, lo cual parecía reforzar la idea de que el esfuerzo repoblador debía hacerse de manera exclusiva por el Estado.

Los *Ensayos forestales* no participan de esa tentación en absoluto:

De aquí que a la pregunta muchas veces formulada de ¿quién debe hacer las repoblaciones?, pueda contestarse de un modo general: Todos. [...] Para lograr esto, son indispensables radicales reformas en los métodos hasta ahora seguidos. Cada tiempo tiene su necesidad, y la actual no es otra que la de fomentar el Estado que las Diputaciones, Ayuntamientos, Confederaciones Hidrográficas y demás entidades oficiales o particulares y grandes y pequeños propietarios echen sobre sí la máxima tarea en esta labor de ejecutar las repoblaciones. Es decir, el Estado no debe ser el único, sino más bien el mínimo ejecutor de ellas. (XIMÉNEZ DE EMBÚN y AZPEITIA, 1931: 37-38)

Claro está que esta intención tan loable, pero tan desligada de la realidad del momento en que se escribe, en el que sucede exactamente lo contrario, se matiza en páginas posteriores, donde se aclara que, al menos en el primer decenio, el Estado seguirá teniendo un papel principal, pero que debe fomentar la actuación de los restantes agentes de maneras diversas, en particular mediante el fomento del cooperativismo, la ayuda económica directa, la propaganda y la formación (XIMÉNEZ DE EMBÚN y AZPEITIA, 1931: 45-46). Los autores defienden, por tanto, la descentralización repobladora que tanto propugnó Ximénez de Embún en sus artículos en la revista de la Confederación del Ebro, y de hecho insisten en ello tanto el Plan de 1933 (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1933a: 453 y 460) como el de 1939 (XIMÉNEZ DE EMBÚN y CEBALLOS, 1939: 241-247).

Consecuentemente con lo anterior, los *Ensayos* desechan, al menos como principal, la herramienta de la expropiación de los terrenos por el Estado. Ante esta tentación estatalista, que además parecía tener apoyos sólidos en las teorías políticas totalitarias de la década de 1930, nuestros

autores defienden el papel de los propietarios forestales, que descargarían al Estado de una parte importante de los gastos:

No faltan en nuestro país quienes, profundizando poco en el problema, suelen decir: ¿por qué hacer ningún regalo a los particulares? ¿No será más sencillo y más práctico expropiar el suelo y que todo se haga por y para el Estado? [...] Pero el Estado [...] no puede tener otro fin en materia económica que el conseguir el florecimiento del país [...] y] con una misma cifra en los presupuestos, aceptada la colaboración de los particulares, podrían restaurarse en el mismo tiempo tres veces más superficie que si toda la labor había de pesar sobre el presupuesto del Estado. (XIMÉNEZ DE EMBÚN y AZPEITIA, 1931: 93-94)

En este caso, sin embargo, los autores no podían alegar el precedente de la Confederación del Ebro, porque el modo más habitual en que esta había logrado la disponibilidad de los terrenos para repoblar era mediante la expropiación forzosa. De hecho, en las conclusiones de los propios *Ensayos forestales* se contempla la expropiación como un medio válido a aplicar: sin duda, resultaba preferible que toda la sociedad colaborara en la repoblación de España, pero la realidad acababa imponiendo la necesidad frecuente de que el Estado adoptara el papel de propietario.

En el Plan de 1939, ya se trata de la necesidad de que el Estado adquiriera montes, aunque se justifican las compras, no tanto para lograr la disponibilidad de terrenos para la repoblación, cuanto para contar con una fuente de ingresos para la Administración forestal: “la norma respecto al estado posesorio de la zona de protección debe ser: considerar que no es precisa la expropiación y procurar que de ordinario no se llegue a ella, pero reservándose el Estado la facultad de adquirir terrenos rasos para repoblar o montes en explotación cuando así lo considere conveniente” (XIMÉNEZ DE EMBÚN y CEBALLOS, 1939: 231). No obstante lo anterior, los objetivos cuantitativos del Plan no eran en absoluto tímidos en cuando a compra de montes por el Estado: al cabo de 55 años de aplicación, el Estado debía ser propietario de 1 350 000 hectáreas repobladas (*ibidem*: 376 y 379), lo que hubiera supuesto un incremento de más de un millón de hectáreas, ya que en 1940 solo había 263 827 hectáreas de montes del Estado (DIRECCIÓN GENERAL DE MONTES, CAZA Y PESCA FLUVIAL, 1941). De hecho —y aunque nos salgamos por un momento del objeto de este estudio—, cabe señalar que, aunque el Patrimonio Forestal del Estado desarrolló una muy activa política de compra de montes, solo llegó a adquirir, en el período 1941-1971, una superficie de 558 465 hectáreas (PÉREZ-SOBA, 2013: 66).

Por otra parte, y por encima de todo, quedaba en pie el problema de la financiación, y más en concreto la determinación de la participación de cada agente en los gastos de la repoblación. A analizar esta cuestión se dedican numerosas páginas de los *Ensayos forestales* de 1931 (XIMÉNEZ DE EMBÚN y AZPEITIA, 1931: 87-97), del Plan de 1933 (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1933a: 453-460) y del de 1939 (XIMÉNEZ DE EMBÚN y CEBALLOS, 1939: 377-381), que contienen distintas propuestas: la posibilidad de arriendo de los montes privados por parte del Estado, la promoción de los seguros forestales, la creación de una caja forestal con los ingresos por los productos de los montes, las exenciones tributarias, la coparticipación en los gastos de los usuarios de las obras hidráulicas beneficiadas directamente por la repoblación, etcétera. Propuestas que pecan siempre, no obstante, de cierta inconcreción y, sobre todo, de excesivo optimismo en cuanto a las aportaciones correspondientes a los agentes no estatales: el Plan de 1939 (*ibidem*: 379), aunque atribuye al Estado la responsabilidad de aportar el 68,7% de los gastos (el 48,5% como inversión directa y el restante 20,2% por la vía de subvención), pretende asignar a los pueblos el 21,4% del presupuesto, a las obras hidráulicas otro 7,2% y a los particulares, por último, el 2,7%.

El equilibrio entre el papel productor y el papel protector del monte

A partir de la década de 1910, se introduce dentro de la ingeniería de Montes española un debate sobre la rentabilidad de los montes y sobre la posibilidad de incrementarla mediante el acortamiento de los turnos de cor-tabilidad y la introducción de especies de crecimiento rápido, evolución de la doctrina forestal que GÓMEZ MENDOZA (1992: 104-113) denomina “economía forestal moderna”. Existe, desde entonces y hasta hoy, una búsqueda del necesario equilibrio entre las dos facetas de la repoblación forestal: la protectora —de mejora de las condiciones físicas de los montes— y la productora, de obtención de rentas y productos, que pueden ser de especial interés para la iniciativa privada.

Ante esta aparente tensión, de nuevo Ximénez de Embún y Azpeitia buscan una solución integradora, en dos sentidos. En primer lugar, señalando la complementariedad y apoyo mutuo que se prestan entre sí las repoblaciones con especies de crecimiento lento y las que usan especies de crecimiento rápido,

produciendo estas últimas las rentas que interesen a la iniciativa privada, y den a un tiempo al país los productos forestales que precisa con urgencia:

los cultivos de chopos y eucaliptos en regadío proporcionan, en efecto, a los ocho o diez años madera para muchos usos [...] que es una de las mayores dificultades señaladas, y de este modo, en el intermedio necesario para que los montes creados lleguen a la madurez de sus productos y que al propio tiempo el aumento de la población permita una utilización más intensiva de los regadíos, serán estos los encargados de proporcionar parte de la madera necesaria, función en la que más tarde serán substituidos por los montes. (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1933a: 374-375)

Es la misma idea que al año siguiente expone el economista zaragozano José Larraz en la comisión encargada de establecer las bases para la primera creación del Patrimonio Forestal del Estado, del cual se esperaba que “re poblando las zonas más rápidamente productivas, viniera a disponer en pocos lustros de una renta, que por virtud del propio ordenamiento del Instituto quedara perpetuamente vinculada a la reforestación progresiva, creciente, de las zonas donde el empeño es más arduo, más tardíos los frutos y menor la rentabilidad” (NÁJERA, 1965).

Pero esta visión, siendo cierta, no dejaba de adjudicar, en cierto modo, un papel subordinado de las repoblaciones en terrenos más desfavorables —y, por ende, con un objetivo principalmente protector— a las repoblaciones que pudieran ser más productivas. Por eso es aún más interesante el siguiente paso que dan Ximénez de Embún y Azpeitia: “ambos aspectos, perfectamente distintos desde un punto de vista doctrinal, no lo son tanto desde un punto de vista práctico porque de hecho ni hay monte de producción que no sea al tiempo protector, ni monte de protección que no sea productor” (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1933a: 396). Los *Ensayos forestales* van aún más allá, al afirmar que la producción no es más que otra forma de proteger:

Ocurre ahora preguntar [...] qué debe entenderse por Zona forestal de protección. La protección a que obedece este nombre de la Zona forestal puede entenderse de dos maneras diferentes. Una de ellas hace referencia a la protección indirecta que deriva de las influencias físicas del monte sobre el clima, el suelo y la hidrología. La otra forma de protección que puede considerarse hace referencia a la misión económica y social del monte, alude a la necesidad de producir en el país la cantidad de productos forestales de las clases y en las cantidades precisas para atender a las necesidades de su población y de su industria, y también a los servicios de índole social que puede

desempeñar el monte, entre los cuales, no es el menor el de facilitar la permanencia de una población agrícola en el campo, proporcionándole trabajo remunerador [...] Tanto en el uno como en el otro aspecto de la cuestión, puede decirse que el monte es siempre protector, y la determinación de una zona forestal de protección solo puede hacer referencia a la delimitación de las regiones en las que ambos servicios parezcan más indispensables. (XIMÉNEZ DE EMBÚN y AZPEITIA, 1931: 25-26)

En este párrafo se contiene, de manera casi exacta, la idea de la multifuncionalidad de los montes.

De hecho, cuando los planes tanto de 1933 (XIMÉNEZ DE EMBÚN, 1933a: 393-446) como de 1939 (XIMÉNEZ DE EMBÚN y CEBALLOS, 1939: 171-205 y 365-370) hacen una estimación de la superficie a repoblar, usan primero un criterio económico, cual es el de cubrir el déficit de productos forestales, y luego un criterio físico hidrológico-forestal, atendiendo a la altitud, la pendiente o los estudios hidrológico-forestales realizados en cada cuenca. Así, el Plan de 1933 identifica la necesidad de repoblar 2 500 000 hectáreas para aumentar en 5 000 000 de metros cúbicos la producción nacional de leñas y maderas, y, usando el criterio hidrológico-forestal, obtiene la cifra de 2 703 450 hectáreas. El Plan de 1939, por su parte, establece en 3 850 000 hectáreas las que hay que repoblar por “consideraciones físicas” y en 2 150 000 las que obedecen preferentemente a “razones de índole económico”, si bien de estas últimas se juzgaba que 310 000 también tenían carácter protector preferente (fig. 13).

En este sentido, creemos que hay que relativizar la diferencia que existe entre los objetivos de producción y de protección establecidos en el Plan de 1939 y las pocas cifras que conocemos del Plan de Esteva y Villanueva de 1940. Según MARTÍN LOBO (1965: 137), dicho Plan matizaba el objetivo de 6 000 000 de hectáreas, dejándolo en 5 678 625 hectáreas, de las que 1 422 650 tendrían finalidad exclusivamente protectora y 4 255 975 para la obtención de productos, lo que se ha interpretado como una elocuente desviación (GÓMEZ MENDOZA y MATA, 1992: 22-23). No creemos que lo interpretara así el propio Ximénez de Embún, habida cuenta de sus ideas acerca del valor protector del monte en sus dos vertientes: física y económica. La propuesta de Esteva y Villanueva más parece un modo de presentar de otra manera las mismas cifras, acentuando los posibles beneficios económicos futuros en un momento en que era preciso obtener del Estado el impulso presupuestario inicial, y, por tanto, decisivo, para el período de grandes repoblaciones.

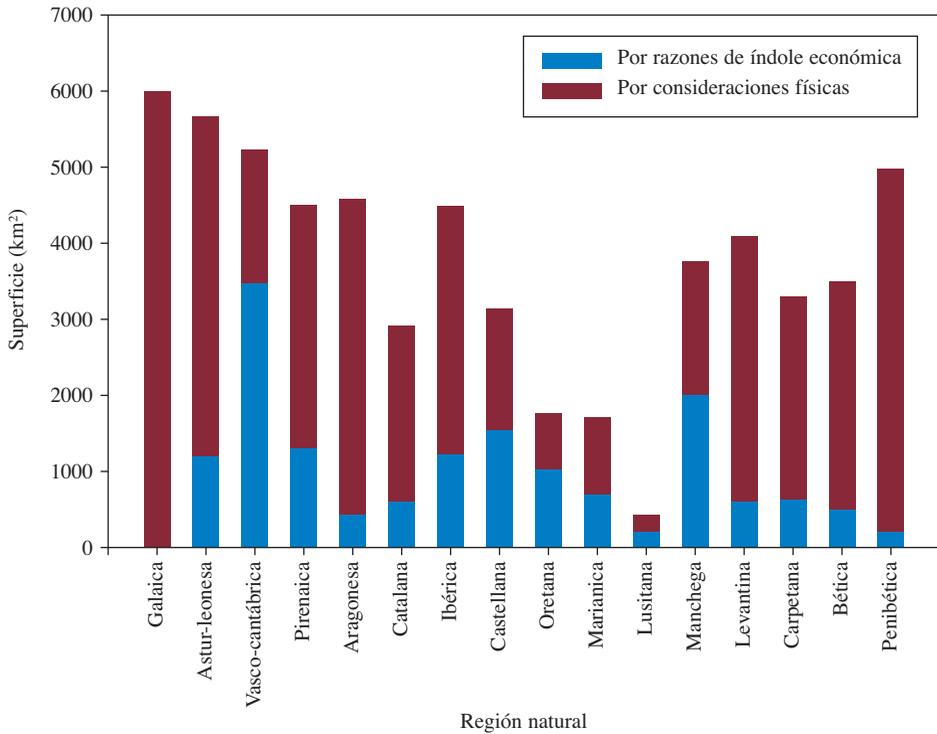


Fig. 13. Superficie a repoblar por regiones naturales según el objetivo de índole económica o hidrológica propuesto en el Plan General de Repoblación Forestal. (Fuente: elaboración propia a partir de los datos del Plan)

Una Administración repobladora con autonomía y flexibilidad, auxiliada por la iniciativa privada

Por último, otra idea es repetida por Ximénez de Embún: “para recoger todo el fruto de los muchos sacrificios que la repoblación forestal exige, es preciso pensar y realizar una reforma total de servicios [forestales]” (XIMÉNEZ DE EMBÚN y CEBALLOS, 1939: 363). No se refiere en este caso a crear nuevos servicios forestales fuera del Estado, sino a la reforma de la Administración Forestal estatal, que debe seguir los principios de descentralización, flexibilidad económica, autonomía política, buena preparación técnica y vocacional, y estabilidad administrativa, además de responder adecuadamente a la relación con la sociedad que, como hemos visto, preside el ideario repoblador de los autores que analizamos. Como se entiende a la vista

de todo lo antes expuesto, la descentralización que propugnan Ximénez de Embún y Azpeitia no debe entenderse en un sentido territorial, sino como una desconcentración: el papel principal del Estado ha de ser la promoción de la actividad repobladora a través de los agentes sociales, con la consiguiente labor de inspección, que los autores pretenden que sea estricta.

En particular, llama la atención que los *Ensayos forestales* defiendan la ejecución de las repoblaciones mediante contrata, cuando la opinión de la Sexta División Hidrológico-Forestal, donde se formaron Ximénez de Embún y Azpeitia, era muy favorable a la ejecución directa por la Administración. Para las obras de defensa de la Estación de Canfranc se había incluso tramitado un Real Decreto específico (de 18 de junio de 1920) que las exceptuaba de los procedimientos generales de contrata, lo que permitía acelerar su ejecución y ajustarla al período estival, único hábil por los condicionantes del medio (PEMÁN y PÉREZ-SOBA, 2013: 143). Sin embargo, los *Ensayos forestales* (XIMÉNEZ DE EMBÚN y AZPEITIA, 1931: 68-76) proponen distintas medidas para superar las dificultades que impone la rigidez de los contratos públicos frente a la necesaria flexibilidad que exige “una obra viva” como la repoblación, en lugar de “una obra muerta”, como las obras públicas usuales. Esa defensa de la contrata se hace por dos motivos: para fomentar la participación social, como se ha dicho, pero también para contar con empresas privadas formadas en la buena ejecución de repoblaciones, a las cuales puedan acudir las Administraciones carentes de servicios forestales propios, o los propietarios particulares. Este posicionamiento sobre la modalidad de ejecución quedaría recogido en el Reglamento e instrucciones de repoblación, y en el Pliego de condiciones para la contratación de las repoblaciones forestales, aprobados poco después (Decreto de 12 de julio de 1933), que contemplaban la posibilidad de la contrata a través del sistema de concurso, el cual, siguiendo la propuesta de Ximénez de Embún y Azpeitia, debía valorar no solo la oferta económica, sino también la capacidad profesional y económica de los concurrentes.

El Plan de 1939 no contiene propuestas muy concretas sobre la organización de los servicios — solo “una mera indicación de la necesidad de una total reorganización” —, pero incluye en sus conclusiones (XIMÉNEZ DE EMBÚN y CEBALLOS, 1939: 384) la distinción de cuatro grandes grupos de funciones que parece insinuarse que se corresponden con otros cuatro servicios independientes: a) gerencia técnica de todos los montes que es preciso conservar

y aprovechar, cualquiera que sea su dueño; b) creación de nuevas masas en terrenos rasos; c) enseñanza experimental y práctica, y orientación de la actividad privada; y d) alta dirección, comprobación e inspección. Esta división se corresponde, aproximadamente, con la organización de la Administración forestal estatal que haría realidad las grandes repoblaciones forestales: la Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial (grupo A), la Dirección General del Patrimonio Forestal del Estado (grupo B), el Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (grupo C) y el Consejo Superior de Montes (grupo D). Se buscaba de esta manera dar una autonomía marcada a los servicios repobladores, con las ventajas —y los inconvenientes— que ello supone.

CONCLUSIONES

Como colofón de cuanto llevamos expuesto, cabe proponer estas sucintas conclusiones:

- Joaquín Ximénez de Embún y Oseñalde y Florentino Azpeitia Florén tuvieron un lugar central en el origen del Plan General de Repoblación Forestal de España de 1939.
- Cada capítulo del Plan de Repoblación de 1939 fue redactado por un solo autor. Parece muy probable que la autoría de los capítulos 1, 2 y 9 corresponda a Ceballos, y el resto a Ximénez de Embún de una manera predominante, si no completa. Por tanto, debe reivindicarse la coautoría (en ocasiones olvidada) de Ximénez de Embún en este Plan, evitando de este modo atribuir a Ceballos ideas y expresiones que son de aquel.
- El Plan de 1939 tiene su origen en directos antecedentes en las décadas de 1920 y 1930, entre los que destacan las publicaciones de Ximénez de Embún en la década de 1920, los *Ensayos forestales* publicados por Ximénez de Embún y Azpeitia en 1931 y el anejo forestal del Plan General de Obras Hidráulicas de 1933.
- En particular, el ideario repoblador que preside el Plan de Repoblación de 1939 es básicamente el mismo que se expone en los antecedentes antes expuestos. Dicho ideario busca superar, por integración de ideas complementarias, las principales polémicas que desde hacía

décadas afectaban a la repoblación forestal y que aparentemente impedían la aplicación de un plan ambicioso de repoblación.

- Algunos de los principios básicos de dicho ideario son:
 - a) La repoblación forestal debe estar inserta en la ordenación del territorio.
 - b) La relación entre las obras hidráulicas y las forestales debe ser muy estrecha, no solo por motivos físicos, sino también económicos.
 - c) Hay que buscar medios que no sean solamente coercitivos para hacer posible la compatibilidad de la repoblación con la ganadería y los aprovechamientos de subsistencia de la población local, medios que en particular busquen el desarrollo rural y se basen en una organización cooperativa de los propietarios y de los usuarios del monte.
 - d) Se debe fomentar la participación social en la repoblación forestal.
 - e) Hay que buscar un equilibrio entre el papel productor y el papel protector del monte, de modo que se complementen entre sí.
 - f) La Administración repobladora del Estado debe estar organizada con autonomía y flexibilidad, y ser auxiliada por la iniciativa privada.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al ingeniero de Montes Álvaro Picardo Nieto, asesor de la Dirección General del Medio Natural de la Junta de Castilla y León, el que llamara nuestra atención sobre la importancia de la obra y el pensamiento de Joaquín Ximénez de Embún y Oseñalde, y nos proporcionara copia de los *Ensayos forestales*. Damos las gracias a los hermanos Azpeitia Muñoz (José, Javier, Ana y Carmen) por facilitarnos fotografías y documentación de su ilustre abuelo Florentino. También agradecemos a los ingenieros de Montes Inés González Doncel (catedrática de la Universidad Politécnica de Madrid) y Antonio Ortiz de Solórzano y Aurusa (gerente del Grupo Única, Unión Cartográfica de Aragón), así como al ingeniero técnico forestal Salustiano Iglesias Sauce (jefe del Servicio de Material Genético del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente), por las aportaciones de distintos datos e imágenes que hemos recogido o citado en este artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ, R. (1997). Aproximación a la vida y obra del naturalista Florentino Azpeitia Moros (1859-1934). *Llull*, 20: 7-57.
- ANÓNIMO (1928). La entrega al señor Ministro de Fomento del emblema de la Confederación del Ebro. *Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro*, 10: 5.
- ANÓNIMO (1952). La presidencia del Consejo Superior de Montes. *Montes. Publicación de los Ingenieros de Montes*, 45: 218-219.
- ANÓNIMO (1954). Necrología. *Montes. Publicación de los Ingenieros de Montes*, 56: 159.
- AYERBE, P. (1912). Importancia y necesidad del Servicio Hidrológico-Forestal. *Revista de Montes*, 839: 9-14.
- AYERBE, P. (1913). Aguas y montes. *Revista de Montes*, 874: 413-422.
- AZPEITIA, F. (1919a). Los trabajos hidrológico-forestales y la Estación Internacional de Los Arañones (Canfranc). *Revista de Montes*, 1028: 773-847.
- AZPEITIA, F. (1919b). La Estación Internacional de Canfranc y su defensa contra los aludes y avenidas torrenciales. *Ibérica*, 12: 345-349.
- AZPEITIA, F. (1922a). Trabajos hidrológico-forestales para la defensa de Canfranc contra las avenidas del torrente "Los Meses". *Revista de Montes*, 1073: 285-289.
- AZPEITIA, F. (1922b). *Trabajos hidrológico-forestales para la defensa de la Estación Internacional de "Los Arañones" (Canfranc)*. Fototipia de Hauser y Menet. Madrid. 30 pp.
- AZPEITIA, F. (1922c). La Estación Internacional de Los Arañones (Canfranc) y su defensa hidrológico-forestal. *Revista de Montes*, 1074: 321-382.
- AZPEITIA, F. (1924). El torrente Los Meses y su corrección hidrológico-forestal. *España Forestal*, 95: 46-47 y 69-72.
- AZPEITIA, F. (1927). Los viveros forestales en la cuenca del Jalón. *Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro*, 6: 15-16.
- AZPEITIA, F. (1928a). Necesidad de los trabajos de corrección y repoblación en la cuenca de alimentación del pantano de Ribota. *Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro*, 11: 18-20.
- AZPEITIA, F. (1928b). Resultado del cultivo de viveros en la cuenca del Jalón hasta mayo de 1928. *Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro*, 14: 24-25.
- AZPEITIA, F., y M. GANUZA (1926). Trabajos de defensa contra aludes y torrentes de la Estación Hispano-Francesa de Canfranc (España), del ferrocarril transpirenaico de Zuera (España) a Olorón (Francia). En Institut International d'Agriculture (ed.), *Actes du 1.º Congrès International de Sylviculture: Rome, 29 avril – 5 mai 1926*. Imprimerie de l'Institut International d'Agriculture. Roma.
- BERNAD, F. (1919). Carta abierta. *España Forestal*, 51: 99-101.
- CARRANZA, V. (1946). Servicio Forestal. En Confederación Hidrográfica del Ebro (ed.), *Memoria años 1936-1945*: 149-160. Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza.

- CASADO, L. (1950). La repoblación forestal en España. *Montes. Publicación de los Ingenieros de Montes*, 33: 337-345.
- CEBALLOS, L. (1962). Prólogo. En J. Ximénez de Embún y González-Arno, *Los montes: introducción a la silvicultura*, 2.^a ed., s. p. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- COMITÉ DIRECTIVO DE OBRAS PÚBLICAS (1940). *Plan General de Obras Públicas, tomo II: Obras hidráulicas*. Talleres penitenciarios Alcalá. Madrid.
- DIRECCIÓN GENERAL DE MONTES, CAZA Y PESCA FLUVIAL (1941). *Memoria del avance de Estadística de Producción forestal de España. Año 1940*. Ministerio de Agricultura. Madrid. 80 pp.
- FRUTOS, L. M.^a (1999). Usos del agua en la cuenca del Ebro: realidades y perspectivas. En A. Gil Olcina y A. Morales (coords.), *Los usos del agua en España: 379-438*. Caja de Ahorros del Mediterráneo y Universidad de Alicante. Instituto Universitario de Geografía. Alicante.
- GARCÍA-ESCUADERO, P. (1948). *La Escuela Especial y el Cuerpo de Ingenieros de Montes. Los cien primeros años de su existencia (1848-1948)*. Diana Artes Gráficas. Madrid. 398 pp.
- GIL OLCINA, A. (2001). Del Plan General de 1902 a la planificación hidrológica. *Investigaciones Geográficas*, 25: 5-32.
- GIMÉNEZ-ARNÁU, E. (1998). La entrevista de Hendaya. *Razón Española. Revista Bimestral de Pensamiento*, 88: 133-142.
- GÓMEZ MENDOZA, J. (1989). La discusión técnica en torno a la política hidráulica y a la política forestal del Plan Nacional de Obras Hidráulicas. En *Los paisajes del agua: libro jubilar dedicado al profesor Antonio López Gómez: 85-96*. Universidad de Valencia y Universidad de Alicante. Valencia.
- GÓMEZ MENDOZA, J. (1992). *Ciencia y política de los montes españoles (1848-1936)*. ICONA. Madrid. 260 pp.
- GÓMEZ MENDOZA, J., y R. MATA (1992). Actuaciones forestales públicas desde 1940. Objetivos, criterios y resultados. *Agricultura y Sociedad*, 65: 15-64.
- GONZÁLEZ ESCRIG, J. L., y A. MORCILLO (1999). En el primer centenario del fallecimiento de Lucas de Olazábal y Altuna (1829-1899). Socio fundador de la revista *Montes*. Su vida y obra. *Montes. Revista de Ámbito Forestal*, 56: 22-26.
- GONZÁLEZ MIRANDA, M. (1982). Ximénez de Embún y Val, Tomás. En *Gran Enciclopedia Aragonesa*, 12: 3371. UNALI. Zaragoza.
- GRIMALT, F. (2014). Joaquín Ximénez de Embún y González-Arno (1913-1963): un ingeniero comprometido con la Naturaleza. *Montes*, 117: 71-72.
- IBARRA, P., y J. R. DE LA RIVA (2003). Aportación al análisis de las repercusiones ambientales de la gestión de la Confederación Hidrográfica del Ebro. *Geographicalia*, 44: 75-101.
- IBARRA, P., J. R. DE LA RIVA, I. IRIARTE, V. RODRIGO e I. RABANAQUE (2008). Gestión del agua y medio natural. En V. J. Pinilla (coord.), *Gestión y usos del agua en la cuenca del Ebro en el siglo XX: 609-656*. Prensas Universitarias de Zaragoza. Zaragoza.

- LORENZO PARDO, M. (1928). Trabajos de regularización y repoblación forestal en las cabeceras de los ríos pirenaicos. Utilidad social y valor económico de estos trabajos. *España Forestal*, 145: 71-84.
- MARTÍN LOBO, M. (1963). La repoblación forestal. En *El Nuevo Estado español, 1936-1963*, II: 39-84. Instituto de Estudios Políticos. Madrid.
- MARTÍN LOBO, M. (1965). Veinticinco años de paz octaviana en los montes españoles. *Montes. Publicación de los Ingenieros de Montes*, 122: 131-145.
- MARTÍN LOBO, M. (2014). 75 aniversario de la publicación de dos Planes Hidrológico-Forestales: el Plan General de Obras Públicas (Hidráulicas) y el Plan General de Repoblación Forestal. *Montes*, 117: 29-34.
- NÁJERA, F. (1965). Larraz: fundador del Patrimonio Forestal del Estado. *Montes. Publicación de los Ingenieros de Montes*, 125: 381-383.
- OLAZÁBAL, L. de (1888). Plan de repoblaciones. En *Cuarenta años de propaganda forestal. Colección de memorias, artículos e informes publicada con autorización del autor por la Revista de Montes*: 551-570. Imprenta de Ricardo Rojas. Madrid.
- ORTEGA CANTERO, N. (1992). El Plan Nacional de Obras Hidráulicas. En A. Gil Olcina y A. Morales (coords.), *Hitos históricos de los regadíos españoles*: 335-364. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- ORTUÑO, F. (1990). El plan para la repoblación forestal de España del año 1939: análisis y comentarios. *Ecología*, fuera de serie 1: 373-392.
- PEMÁN, J. (2013). La regulación y fomento de la actividad repobladora en la legislación forestal en el período comprendido entre 1860 y 1940. En G. Montero, M. Guijarro y cols. (eds.), *Actas del VI Congreso Forestal Español*. CD-Rom. 6CFE01-602. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Pontevedra.
- PEMÁN, J., e I. PÉREZ-SOBA (2013). Los Ayerbe: tres ingenieros de Montes altoaragoneses y su aportación a la hidrología forestal española. *Lucas Mallada*, 15: 99-160.
- PÉREZ-SOBA, I. (2010). *Un siglo protegiendo los montes. El Catálogo de Montes de Utilidad Pública de la provincia de Zaragoza (1905-2008)*. IFC. Zaragoza. 173 pp.
- PÉREZ-SOBA, I. (2013). Los montes de utilidad pública: un patrimonio con mucho pasado y mucho futuro. *Ambienta*, 104: 54-72.
- PÉREZ-SOBA, I. (2015). Fernando Baró Zorrilla (1877-1959): un trabajador incansable y polifacético. *Montes*, 120: 63-67.
- PIRES, L. E., y J. L. RAMOS (2005). Ingenieros e “ingenierismo” en la economía de la España autárquica: una comparación con el caso portugués. *Transportes, Servicios y Telecomunicaciones*, 8: 82-115.
- PITA, P. A. (1963). Ponencia segunda. Repoblaciones en general. En *II Asamblea Técnica Forestal*: 325-357. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- RUIZ DE LA TORRE, J. (1996). La huella de D. Luis Ceballos. *Montes. Revista de Ámbito Forestal*, 45: 59-63.

- SÁENZ RIDRUEJO, C., y F. SÁENZ RIDRUEJO (1993). El Plan Nacional de Obras Hidráulicas: autor, colaboradores y circunstancias que concurrieron en su realización. En *Plan Nacional de Obras Hidráulicas. Edición comentada*: 45-65. MOPTMA y CEDEX. Madrid.
- SIERRA, J. M. (2011). *La culta y simpática fiesta. La fiesta del árbol en la política forestal y la historia de España*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid. 430 pp.
- XALAS, X. de (1916). Ximénez de Embún. *Linajes de Aragón. Revista quincenal ilustrada: reseña histórica, genealógica y heráldica de las familias aragonesas*, 7: 261-262.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J. (1912). Reglamentación del pastoreo en los montes a cargo de los distritos forestales. *Revista de Montes*, 839, 840 y 841: 14-21, 50-60 y 92-98. También fue publicado como folleto (Madrid, Imprenta alemana, 1912, 20 pp.).
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J. (1913). Año nuevo, vida nueva. *Revista de Montes*, 882: 717-718.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J. (1915a). De política silvo-pastoral. *Revista de Montes*, 927: 681-687.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J. (1915b). De política silvo-pastoral: los montes de Galicia. *Revista de Montes*, 928: 717-722.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J. (1916). El problema forestal en las Cortes. *España Forestal*, 14: 117-119.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J. (1922). *Cómo se defiende un bosque*. Antonio Marzo (Catecismos del Agricultor y del Ganadero). Madrid. 32 pp. (Hay reedición de Espasa-Calpe, de 1932).
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J. (1923). *El monte bajo*. Calpe (Catecismos del Agricultor y del Ganadero). Madrid. 32 pp.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J. (1925). Importancia de los montes de común aprovechamiento en el problema social agrario. *Revista de Montes*, 1106: 149-158.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J. (1927). Colaboración forestal en el mejoramiento del régimen del Jiloca. *Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro*, 3: 19-21.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J. (1928a). Año nuevo. *España Forestal*, 141: 3-4.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J. (1928b). Algunos aspectos del problema de restauración forestal. *España Forestal*, 142: 20-22, 144: 49-52 y 150: 147-148.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J. (1928c). Cómo resolverá la Confederación el problema de la restauración forestal. *Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro*, 14: 19-23.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J. (1931). La flotación de maderas: contestando a una alusión. *Montes e Industrias*, 5: 83.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J. (1932). La repoblación forestal en sus relaciones con la producción e industrias de la madera. *Montes e Industrias*, 14: 355-358.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J. (1933a). La repoblación forestal en sus relaciones con el régimen de los ríos. En *Plan Nacional de Obras Hidráulicas*, III: 371-460. MOPTMA y CEDEX. Madrid.

- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J. (1933b). Propaganda forestal. *INGAR*, 8: 191-193.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J. (1934a). Estudio de la superficie que debe repoblarse con fines de carácter hidráulico-forestal. *Boletín de la Dirección General de Montes, Pesca y Caza*, 8.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J. (1934b). Algunas observaciones de geografía forestal. *Boletín de la Dirección General de Montes, Pesca y Caza*, 4: 121-126.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J. (1934c). Propaganda forestal. *INGAR*, 10: 258-260.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J. (1944a). *Insinuaciones o confesiones que se me ocurren hacer en quienes se ocupan del estudio del problema de la madera*. Documento inédito. Archivo General de la Administración (Alcalá de Henares), sig. Ministerio de Agricultura, 61/2167.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J. (1944b). *Meditaciones acerca del tema de propaganda forestal*. Documento inédito. Archivo General de la Administración (Alcalá de Henares), sig. Ministerio de Agricultura, 61/2167.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J. (1945). El monte y sus “añadiduras”: ligeras reflexiones de un forestal viejo. *Montes. Publicación de los Ingenieros de Montes*, 5: 294-297.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J., y F. AZPEITIA (1931). *Ensayos forestales. Medidas que podrían dictarse por el poder público, para estimular entre los Ayuntamientos, empresas y particulares la obra de la repoblación forestal en España*. Imprenta editorial Gambón. Zaragoza. 114 pp.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J., y L. CEBALLOS (1939). Plan General para la Repoblación Forestal de España. En *Tres trabajos forestales: Luis Ceballos, homenaje en su centenario: 7-385*. Edición de 1996. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Madrid.
- XIMÉNEZ DE EMBÚN, J., y L. VELAZ DE MEDRANO (1915). Los aludes de Panticosa. *España Forestal*, 4: 86-89.

POSIBLES EFECTOS DE LA ERUPCIÓN DE LAKI (ISLANDIA) EN 1783-1784 SOBRE EL ALTO ARAGÓN

José Antonio CUCHÍ¹

RESUMEN.— La erupción del volcán Laki (Islandia) en 1783-1784 produjo diversos efectos sanitarios entre la población de Centroeuropa. En el presente artículo se analiza la posibilidad de que la erupción hubiera afectado también al Alto Aragón. El análisis sugiere que pudo haber algún efecto, que necesitaría ser analizado con mayor profundidad.

ABSTRACT.— The eruption of Laki (Iceland) volcano in 1783-1784 produced various health effects among the population of Central Europe. In this paper the possibility that the eruption had also affected the Alto Aragón is analyzed. The work suggests that it may have had some impact that would need to be analyzed in greater depth.

KEY WORDS.— Laki volcano, public health, Alto Aragón (Spain).

INTRODUCCIÓN

La excepcional erupción de Laki, también conocida como Skaftárel-dar (Los Fuegos de Skaftá) o Síðueldur, comenzó el 8 de junio de 1783 y duró hasta el 7 de febrero de 1784. A lo largo de una larga fisura, un total de 130 cráteres emitieron 14 km³ de lava, 0,91 km³ de cenizas, 8 millones

Recepción del original: 23-11-2015

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

de toneladas de ácido fluorhídrico y otros 120 millones de toneladas métricas de anhídrido sulfuroso. Se estima que su bajo índice de explosividad volcánica hizo que aproximadamente dos tercios de los gases emitidos quedaran atrapados en la troposfera (BRAYSHAY y GRATTAN, 1999). Las emisiones atmosféricas más importantes finalizaron hacia principios de noviembre de 1783 (CHENET y cols., 2005). Además, entre junio de 1783 y mayo de 1785 estuvo también en erupción el inmediato volcán Grímsvötn (THORDARSON, 2003; THORDARSON y cols., 2003). El 17 de febrero de 1783, también entró en erupción el Etna y, unos días más tarde, el Stromboli. Otra erupción menor se registró en el Vesubio en agosto de este año, así como una violenta explosión en el Asama (Japón), de mayo a agosto del mismo año.

La erupción tuvo claros efectos climatológicos, al igual que sucedería años más tarde con las de Tambora (1815) y Krakatoa (1883). Los efectos de la erupción se añadieron a los relacionados con la Pequeña Edad de Hielo, caracterizada por un enfriamiento general del clima, pero también salpicada por duras sequías. Además, hubo importantes fenómenos de El Niño en los años anteriores y posteriores.

En Europa, el verano de 1783 fue un verano muy caliente y hubo fuertes tormentas, con grandes granizos y abundantes bolas de fuego. En este continente, el invierno de 1783-1784 fue muy duro. Estas condiciones causaron problemas a la producción agrícola en el campo y desabastecimiento en las ciudades. También para Norteamérica este invierno se ha señalado como muy frío (SIGURDSSON, 1982). Se considera que Laki también provocó problemas de tipo climatológico en Egipto e India.

Las cenizas y gases tóxicos dispersados por condiciones meteorológicas favorables alcanzaron casi toda Europa, incluso el sur de España y el norte de África, entre junio de 1783 y junio de 1784, como señala GRATTAN (2005). Revisiones más finas (GRATTAN y cols., 2005) indican que las primeras observaciones de nieblas secas, *smog*, se realizaron el 18 de junio de 1783 en Marsella y el 26 de junio en Lisboa. La figura 1 muestra las noticias sobre estas nubes secas recopiladas por GRATTAN (2005). Entre otros efectos, la atmósfera tomó colores rojizos, que se atribuyeron a diversos factores, no todos naturales. Según parece, Benjamin Franklin, entonces embajador de los nacientes Estados Unidos en Europa, estuvo entre los primeros en sugerir una relación con el vulcanismo islandés. Además de estos efectos ópticos,

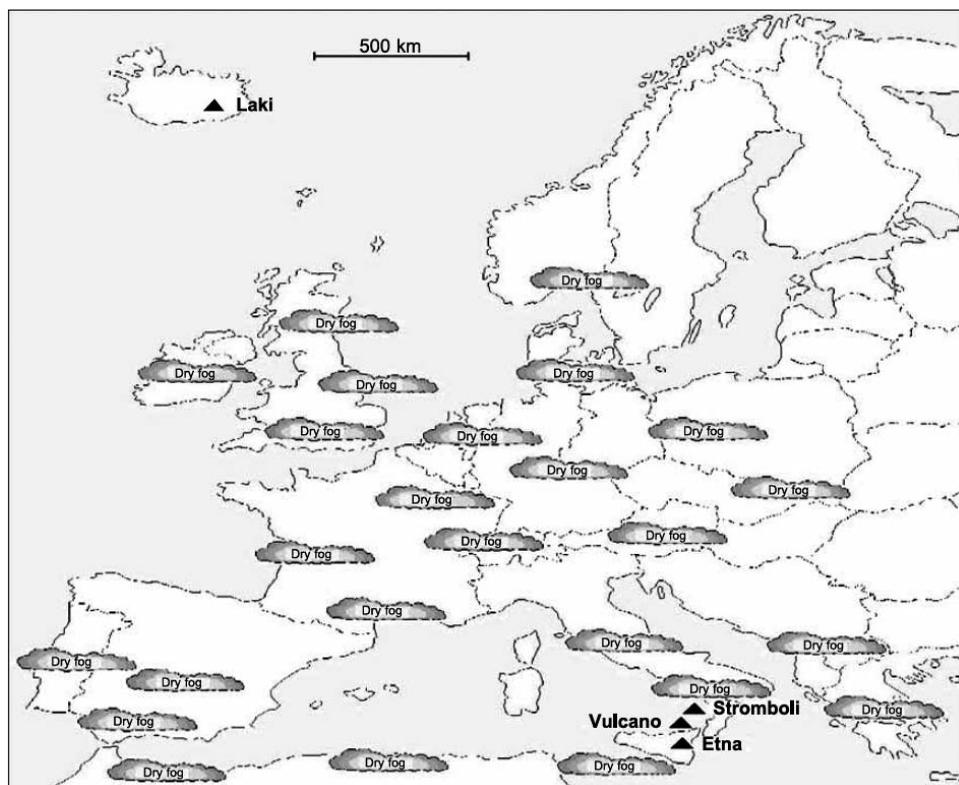


Fig. 1. Noticias de niebla seca y volcanes activos en 1783 en Europa según GRATTAN (2005).

como resultado de la contaminación volcánica, diversos autores contemporáneos centroeuropeos señalaron consecuencias en las plantas coherentes con elevados niveles de anhídrido sulfuroso, incluyendo pérdidas en cosechas y frutos por necrosis en diversos grados (GRATTAN y cols., 2003).

Las emisiones contaminantes de Laki tuvieron también los correspondientes efectos sanitarios. Como era de esperar, las consecuencias fueron desastrosas para la población cercana. Se estima que en Islandia murieron por hambre e intoxicación por fluorosis entre el 20% (STONE, 2004) y el 50% de la población (D'ALESSANDRO, 2006). El hambre fue debida a la muerte del 80% de las ovejas, principal fuente de proteínas, y del 50% de los caballos. Durante la erupción, la mortalidad también aumentó en Europa, como muestran GRATTAN (2005), GRATTAN y cols. (2005) y WITHAM

y OPPENHEIMER (2005) con datos de diversas parroquias de Inglaterra y Francia. Evidentemente, esta mortalidad era solo la punta del iceberg de una deteriorada salud pública. Parece interesante reseñar lo que dice el texto reproducido por GRATTAN y cols. (2003): “Such multitudes are indisposed by fevers in this country, that farmers have with difficulty gathered in their harvest, the labourers having been almost every day carried out of the field incapable of work and many die (*Cowper Letters*, 1783)”. Los efectos respiratorios se notaron en Francia, Italia e incluso en Bagdad y Terranova (DURAND y GRATTAN, 1999). Los síntomas incluían dolores de cabeza, irritación de ojos y garganta, cansancio ocular, pérdida de apetito y dificultad respiratoria especialmente entre los asmáticos (THORDARSON y SELF, 2003). Curiosamente dos años antes, en 1781, una epidemia que parecía originarse en la atmósfera se extendió por Europa. Así fue descrita por Caroli de Mertens en 1787, según recoge VILLALBA (1802):

Los calores ardientes del estío de 1781 sin lluvias por muchos meses, el otoño frío y húmedo, seguido a la excesiva sequedad del estío y el invierno nebuloso, fueron causas predisponentes para contaminar varios pueblos de Europa de una especie de fiebre catarral epidémica, producida por alguna causa desconocida, contenida en la atmósfera; la qual tuvo principio en los países boreales, y playas del mar Báltico: se extendió después por toda la Alemania, la Francia, el país de los Suizos, pasó a Inglaterra; y finalmente, afligió a Italia, España y Portugal.

En España hay todavía pocas referencias, y son muy recientes, sobre los posibles efectos de Laki. ALBEROLA y BOX (2014) indican:

Fue este un mal año tanto en España como en el resto del continente europeo, pues a los efectos ocasionados por la erupción del volcán islandés Laki, que propiciaron un verano gris y agobiante seguido de un gélido invierno, se añadieron las consecuencias de los terremotos de Calabria y Sicilia así como las de las fuertes lluvias e inundaciones que castigaron a muchas regiones centroeuropeas.

Por su parte, FERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ y cols. (s. f.) afirman que en Zafra (Badajoz) el año 1784 fue uno de los más fríos, con nevadas en primavera y días muy fríos durante el verano, señalando a Laki como un posible causante.

A partir de lo reseñado, la pregunta que subyace es si hubo algún efecto relacionado con este episodio volcánico y que quedara registrado de alguna manera en Aragón y en particular en el Alto Aragón.

LA COMPLICADA SEGUNDA MITAD DEL SIGLO XVIII EN ARAGÓN

El siglo XVIII es un interesante periodo de la historia aragonesa, con importantes acontecimientos desde la guerra de Sucesión y sus consecuencias sobre la gobernación de Aragón hasta los prolegómenos de la guerra de la Independencia. Es un siglo de transición que intuye el principio del fin del Antiguo Régimen. En conjunto, la población aragonesa aumentó, aunque hubo que sufrir varias importantes epidemias. Paralelamente, también se incrementaron la superficie cultivada y la cabaña ganadera (Asso, 1798). Hubo una significativa inmigración francesa y se construyó el Canal Imperial en Zaragoza. Pero también aumentó la tensión social, con motines populares por la carestía de la vida como los de 1766 en Zaragoza, Huesca y otros lugares que describen FERRER BENIMELI (1987), PÉREZ SARRIÓN (1988, 1999) y otros autores. La segunda mitad del siglo contempla también la aparición de los reformistas y la fundación de la Real Sociedad Económica de Amigos del País.

Climatológicamente, el XVIII fue un siglo en plena Pequeña Edad de Hielo, con los glaciares pirenaicos en crecimiento, nieves permanentes en Guara (BLECUA, 1987 [1792]) y fuertes fríos en la tierra llana, como muestra el cuadro *La nevada* de Goya. El Ebro se heló en varias ocasiones. Pero en este mismo periodo hubo duras sequías, como refleja SATUÉ (1991) en su documentado estudio sobre religiosidad popular. Entre 1760 y 1800, se asistió a un periodo atmosférico especialmente complejo, denominado Oscilación Maldà por BARRIENDOS y LLASAT (2003), que se caracterizó por una severa sucesión de fuertes sequías e importantes avenidas catastróficas, relacionables con episodios negativos de la North Atlantic Oscillation (NAO). Un periodo particularmente complicado y duro fue el trienio 1783-1785.

UNOS AÑOS DUROS: 1783 Y SIGUIENTES

Dentro del tercio final del siglo XVIII, los años 1783 y siguientes fueron particularmente duros, de modo que el primero es calificado como “mal año” en la España mediterránea (ALBEROLA, 2012; ALBEROLA y BOX, 2014). En Aragón, “la Primavera de 1783 fue medianamente húmeda, y el Estío muy caluroso, y seco. [...] Siguieron el Otoño, e Invierno muy abundantes de lluvias, y poco fríos, por haber dominado los vientos de levante.

La Primavera de 1784 fue templada, y húmeda” (ASED, 1786). Las actas municipales de Huesca, escuetas por naturaleza, indican que el 10 de enero de 1783 se encargó una novena a la Purísima Concepción, en el convento de San Francisco, para rogativa de agua. A principios de mayo continúa la sequía y el Concejo acuerda “que se saque a San Lorenzo por la ciudad en pública veneración”. Pero las circunstancias meteorológicas cambiaron. El temporal de lluvias continuó durante el invierno y el Cinca se llevó un arco del puente de Fraga. El 9 de enero de 1784, el libro de actas del Ayuntamiento de Huesca indica: “ha resuelto se pase recado a las Parroquias y comunidades para que digan en la colecta la oración sobre la serenidad del tiempo. [...] Y igualmente se ha resuelto se haga la Novena de Misas a la Purísima en San Francisco por la serenidad del tiempo y por la salud”. ASED (1784) informa de que “en el mes de Enero cayó bastante copia de nieve, y se ha conservado más tiempo de lo regular en la Sierra de Guara, y Monte de Moncayo”. El temporal debió de durar hasta marzo, porque el día 10 se da un bando en Huesca dando un plazo extra para mondar las acequias, que “por mal temporal no se han podido hacer”. Es de reseñar que habitualmente esto se hace entre diciembre y enero. El resto de este año parece normal. Pero la sequía reaparece en el verano y otoño de 1785. En agosto, se ejecuta una *tala*, léase *pisoteado público*, de un campo de judías en Banastás, regado sin permiso con aguas de la acequia mayor. En septiembre de este año, se hacen sucesivamente novenas de misas al santo Cristo de los Milagros y san Lorenzo “para obtener de la Divina Providencia el beneficio de la salud pública, y del Agua, de cuyas necesidades haya angustiada esta Ciudad”. En octubre, hay novenario a los santos Justo y Pastor, y se sacan sus reliquias al altar. En noviembre, nueva novena a san Lorenzo con procesión, que se realiza el 13 de noviembre a las 3 de la tarde.

La climatología tuvo su efecto en la producción agropecuaria. Las malas cosechas de cereal se arrastraban ya de años anteriores, lo que obligaba a realizar préstamos de semilla a los agricultores por parte de conventos, pósitos municipales e incluso por el Estado. Aparentemente, estos no podían guardar suficiente grano para la siembra o esta se malograba por la sequía (ALBEROLA y BOX, 2014). En esta línea, el Ayuntamiento de Huesca recibe en enero de 1784 un certificado acerca de que el rey ha librado ciertas cantidades de trigo a Zaragoza, Huesca, Barbastro y Benabarre. En Huesca el Ayuntamiento dicta un bando el 26 de febrero para “que todos

los que quisieran trigo, acudan dándose Memorial, con presentación de fianzas seguras”.

Lo mismo sucede con el vino, elemento fundamental en la alimentación y prácticamente un monopolio municipal. En Huesca, el 3 de octubre de 1784, y en una fecha tardía para nuestros usos actuales, el Concejo ordena que nadie vendimie hasta que lo determine la ciudad. Unos días más tarde, dos expertos, Josef Sampietro y Francisco Berges, informan de que la cosecha será corta y mala, que el “podrido de la uva [...] por razón de la mucha abundancia de aguas que lo han ocasionado [...] y que el que queda sano no madurará al perfección y será agrio y malo”. De hecho, parece que los cosecheros no pagaron la contribución al siguiente año. La vendimia de 1785 no se soltó hasta el 20 de octubre. Además, a principios de ese mes se penalizaba con 60 sueldos por carga la corta de uva anticipada, y se avisaba en el Concejo de que se intentaban hacer vinos tempranos.

Proliferaron algunos insectos dañinos. ASED (1784) informa de una plaga de pulgas en Zaragoza. También hubo plagas de langosta en ambos años en el campo aragonés (ASED, 1786). El problema venía de atrás, porque ya hubo otra importante en Barbastro en junio de 1782 (NIETO y BOSCH, 1992). No era esta la única plaga del cereal. En mayo de 1785, el Concejo de Huesca acuerda que “se escriba carta para la conducción del agua de Sⁿ Gregorio para ocurrir a la urgente necesidad del conjuro del carrapatillo, y que dha carta se entregue a este fin al Arriero Rámiz quien queda encargado de la conducción de dha agua”. Este acto religioso se celebraba el día 9 de mayo, festividad de san Gregorio Ostiense. Pero si algunos insectos perjudiciales proliferaban, no pasó lo mismo con las abejas. ASED (1784) escribe: “Sin embargo, de la mucha y anticipada flor que han producido las plantas, se mueren las abejas. Pudiera atribuirse este efecto a los yelos, que hubo a mediados de Abril; pero sin embargo, que ha salido después nueva flor, suficiente para poderse mantener, si fuera buena, continúan en morirse”.

Tampoco la ganadería lanar, como la principal fuente de la ganadería aragonesa de proteínas animales, conejos de monte excluidos, se libró del desastre. FERNÁNDEZ CLEMENTE (1987) ya indicaba que la cabaña ovina aragonesa bajó notablemente entre 1751 y 1790. Aunque se señalan las roturaciones como causa principal, ya ASSO (1798) aducía la escasez de pastos de verano. Pero algo pudo pasar en 1783-1784. A pesar del invierno

húmedo, que debería indicar una abundancia de pastos primaverales, en las actas municipales de Huesca del 19 de abril de 1784 se da cuenta de un escrito del 10 del mismo mes, del fiscal de la Audiencia de Zaragoza, señalando que falta ganado lanar por la “esterilidad de las yerbas”. En Huesca, el libro de actas municipales de este mismo año recoge un serio conflicto entre el “behedor” municipal, Manuel Omul Rians, y Antonio Secorún, arrendatario de las carnicerías. Parece que el precio y la calidad de los diferentes cortes de carne, prerrogativa municipal, estaba detrás del conflicto, al tiempo que se discutía si el veedor tenía que estar en las matacías de refresco, mientras que aquel mencionaba que “se introducía carne moridiza”. Entre los numerosos escritos del arrendador se dice en julio que “falta ganado lanar por la esterilidad de yerbas”. No fue ni el primer aviso ni el único lugar con este problema. En Barbastro, ASED (1786) escribió que en ese año “los ganados lanares sufrieron una epidemia considerable, que según las disecciones que se practicaron fue Pulmonía, de la que murieron muchas cabezas”.

Sequías, plagas del campo y meteoros extremos afectaron a la población en general, especialmente a las clases menos favorecidas, donde aparentemente reinaba una desnutrición general. En esta línea van las medidas de reparto de comida que toma la Junta de Caridad que se forma en Barbastro en su lucha contra las enfermedades (NIETO y BOSCH, 1992) y que podría pensarse que está en relación con la tradición de repartir *torta de caridad* que hoy se mantiene en muchas romerías altoaragonesas.

En este momento, y probablemente en relación con la climatología y la desnutrición, aparecen grandes epidemias. Las diversas rogativas a san Roque en Zaragoza y Huesca parecen sugerir peste bubónica, pero en general se trataría de paludismo (“tercianas”) (CASAL, 1951; ROSADO y VIDAL, 1985; RIERA y ROJO, 1988; NIETO y BOSCH, 1992; GIMÉNEZ-FONT, 2008), tifus (“fiebres pútridas”) (ALBEROLA y BOSCH, 2014) o incluso fiebres tifoideas. La primera, endémica en España, era común ya antes de 1783, pero ese año hubo importantes focos en las comarcas de Urgel, Tortosa y Bajo Aragón que más tarde se extendieron por todo el Levante. Pero en su momento la cosa pareció más complicada, ya que ASED (1786) señala “que con capa de tercianas es una verdadera fiebre pútrida”.

El número de defunciones fue inusualmente alto en Zaragoza durante 1784, como reflejan los datos del cronista Faustino Casamayor y diversos

libros parroquiales sintetizados por LÓPEZ GONZÁLEZ (1977). También era muy alto el número de trabajadores del Canal Imperial que cayeron enfermos en estas fechas. Asimismo, las defunciones aumentaron en Barbastro (NIETO y BOSCH, 1992). Las actas municipales de Huesca de 1784 recogen también varias. En mayo, dan cuenta de la muerte de Matías Baged, administrador del ramo de la sal, y de Antonio el Til, secretario principal del Ayuntamiento. En julio, mueren la tiracarnes Pabla de Abad y Jaime Berges, perito agrícola del municipio. También falleció el santero de San Jorge, al que se escoge sucesor en agosto. En octubre, el señor Cavallero, alcalde mayor, se halla convaleciente en su país. En la misma línea, las defunciones aumentaron y los registros de bautismo descendieron en varias localidades altoaragonesas, incluidas varias parroquias oscenses (MORENO, 1984).

La ola de defunciones intensificó las prácticas religiosas. En Zaragoza, hubo procesiones y rogativas a san Roque, ya desde el mes de abril de 1784. En Huesca, el 30 de abril de 1784 se acuerda hacer una rogativa general a la Purísima en parroquias y comunidades para el domingo 2 de mayo “por la salud del público”. Para ese día un bando municipal informa de que saldrá a las 9:30 la Purísima en procesión desde la catedral, “por la salud de todo el pueblo”. El 13 de agosto, las actas oscenses reflejan:

y en atención que se ha hecho presente en este Ayuntamiento la mucha costelación que se advierte hay en esta Ciudad de tercianas y alguna otra enfermedad, y del voto que tiene echo este mismo Ayuntamiento en el día de Sr. S. Roque, y que todos guarden la fiesta en dicho día, han resuelto se eche vando para que se guarde dicha fiesta a escepción de aquellos que tuvieren su hacienda en la era y no pudiesen dejar de trabajarla en aquel día.

Para luchar contra la epidemia, además de las devociones populares, las autoridades intentaron que se aplicara el estado del arte de la medicina del momento, aunque no estaba clara la naturaleza de los males. En Huesca, el 21 de mayo de 1784, se da cuenta del papel presentado por parte del Colegio de Médicos de esta ciudad consiguiendo “al recado que se pasó al dicho Colegio para que mirasen y reflexionasen sobre el método y curación de las enfermedades que corrían”. Acordaron que se “arregle un vando”, que no se ha encontrado.

Una parte de las medidas eran profilácticas. Desde hacía tiempo, una parte del cuerpo médico intentaba introducir diversas medidas de higiene como la eliminación de estercoleros urbanos, el alejamiento de las balsas

para el enriado o empozado del cáñamo y lino, así como las balsas de las tenerías y los hornos de yeso, la cría de cerdos en hornos, la construcción de alcantarillados y la eliminación de la costumbre de enterrar dentro de las iglesias. Así, en Huesca, se recibe carta del capitán general Félix O'Neill en febrero de 1785, que manda "se observen y manden cumplir diferentes puntos de polecía para precaver las costelaciones y enfermedades que se han experimentado". En consecuencia, se ordena por bando que se desplacen "las valsas de cocer cáñamo a cuarto de hora de distancia y más de 40 pasos de caminos reales y las femeras a media hora de las casas y 40 pasos de los caminos reales". La orden se debió de cumplir con cierto rigor: afectaría incluso a las balsas de riego y ganaderas, dado que en noviembre de ese año se pide hacer representación ante el capitán general pidiendo que se dejen usar algunas balsas de agua, pero no para cocer cáñamos ni dejar que se corrompa el agua. Las autoridades, en diversos niveles, enviaron médicos en auxilio de las poblaciones afectadas. Dos de ellos han dejado obras interesantes para este momento, en las que ofrecen una visión de primera mano: *ASED* (1784, 1786) y *MASDEVALL* (1786).

Médico francamente activo e influyente en este momento es Josef Masdevall, "Doctor en Medicina de la Universidad de Cervera, Médico del Rey nuestro Señor con ejercicio, Inspector de Epidemias del Principado de Cataluña, Presidente de la Academia de Medicina de Cartagena, Socio del Real Colegio de Médicos y Cirujanos de Zaragoza, y de las Reales Sociedades de París y de Sevilla". Masdevall desarrolló un método, que llevaba su nombre, en el que además de normativa de higiene y alimentación figuraba un preparado antifebril con quina acompañado de una mixtura antimonial, que aplicó y divulgó en diversos lugares a los que sería enviado por orden real, así como en un interesante libro (*MASDEVALL*, 1786). A finales de 1784 está en Barbastro (*NIETO y BOSCH*, 1992). El 8 de marzo del año siguiente se presenta ante el Ayuntamiento de Huesca y suplica y obtiene certificados para el capitán general de Aragón y el conde de Floridablanca sobre "los resultados que han experimentado tan buenos los enfermos de esta Ciudad arreglados al método de su curación".

A nivel aragonés, destacó el médico zaragozano Antonio de Ased y Latorre, "Dr. en Medicina, Individuo del Real Colegio de Médicos y Cirujanos de la Ciudad de Zaragoza, Socio de la Real Aragonesa, su Demonstrador del

Gabinete de Historia natural”. Estudió Medicina en la Universidad de Huesca. En su texto de 1784, analiza la salud pública de Zaragoza durante el invierno de 1783-1784. Los siguientes párrafos dan una idea de la epidemia:

A mediados de Agosto del año pasado observé algunas fiebres catarrales en mugeres y niños: algunas de ellas benignas, pero otras se dexaron ver con alguna malignidad, y pecas. No faltaron algunos individuos de estos, que padecieron pulmonías, anginas, y en los más era muy frecuente, y casi síntoma inseparable la tos. [...] En los Labradores había fiebres viliosas, y tercianas de toda especie. Observé las fiebres catarrales hasta últimos de septiembre; y desde este tiempo hasta fines de Diciembre no noté; más accidentes, que aquellos que trae consigo el tiempo. A principios de Enero, se dexaron ver algunas fiebres, que no guardaban carácter fixo entre sí, sino era el de ser continuas: los síntomas que las acompañaban eran diferentes, según la disposición del sugeto; pero no dexaban de notarse generalmente el dolor de cabeza, las deposiciones serosas, y viliosas muy abundantes, el abatimiento; de fuerzas considerable, y la sed. El dolor de cabeza ha continuado siempre, pero no las deposiciones; pues a principios de Marzo parece mudaron de rumbo; no habiendo observado desde entonces ni aun uno con las referidas evacuaciones: pero al paso que se suprimieron estas, se aumentaron el dolor de cabeza, delirios, poca sed, sopores, y en algunos pecas o manchas de diferentes colores. [...] Algunos inmediatamente, que enfermaban se presentaban con una suma debilidad y abatimiento de fuerzas tan grande, que parece no les faltaba otra cosa, que acabar con su vida. (ASED, 1784: 10-12)

La enfermedad no pareció contagiosa a este autor: “tan solamente un Médico de quantos había en Zaragoza, ha muerto sin enfermar alguno de los otros” (ASED, 1784: 14).

Su estudio sobre la epidemia de Barbastro, adonde llega el 2 de enero de 1785, abarca un periodo de tiempo mayor al dedicado en Zaragoza, ya que sus reflexiones abarcan desde la primavera de 1783 hasta fines de 1784:

Por esta razón los jornaleros, y todos los que por su ministerio se levantan muy temprano, y salen a la campaña son los que enferman con más frecuencia. Se ha observado, que las mugeres, niños, y ancianos no han adolecido en tanto número como los individuos de 18 a 50 años. (ASED, 1786: 24-25)

En el año de 1783 se observó ya la fiebre pútrida remitente, y continua, que en 1784 hizo tanto estrago, y según relación de los facultativos de la misma Ciudad, se experimentó desde el Enero del año pasado, hasta últimos de Mayo la fiebre catarral, que al mismo tiempo afligía la Ciudad de Zaragoza, y otros Pueblos de este Reyno. Duró esta hasta fines de Mayo, y

apareció la intermitente por entonces benigna hasta que en el Agosto se transformó en continua, y remitente malignas. (ASED, 1786: 26-27)

Las calamidades naturales y la mala salud públicas tuvieron evidentes secuelas socioeconómicas. En Zaragoza, en el invierno de 1783-1784 hubo problemas de abastecimiento de pan y carbón vegetal, con conatos de agitación popular en enero del año siguiente (PÉREZ SARRIÓN, 1988). El abastecimiento del carbón vegetal era muy importante en esta época de fríos invernales. El 29 de octubre de 1784, las actas del Ayuntamiento de Huesca recogen que “también se ha tratado largamente en este Ayuntamiento la carestía tan grande que se advierte de carbón y leña en esta ciudad”. A principios de noviembre de 1784, la ciudad acordó una corta extraordinaria del monte municipal de Pebreda adonde podían acudir los particulares previo pago y con fuerte control de la leña cortada. La roza continuó hasta el 20 de febrero del año siguiente, aunque en enero se bajó el precio. No era la única localidad con problemas de combustible. A principios de enero de 1785 se informa en el Pleno municipal de que no era posible conseguir carbón en localidades cercanas por haberse recibido órdenes por parte del capitán general de Aragón y otras autoridades de enviarlo a Zaragoza.

A MODO DE ANÁLISIS

Es evidente que los años estudiados no fueron nada fáciles para los altoaragoneses. Hubo un clima aparentemente más duro que en la actualidad y muy cambiante en torno a 1783: se alternaron largos meses de lluvia y prolongadas sequías que llevaron al fracaso de las cosechas de trigo y vid. Es posible vislumbrar un triste escenario en el campo, con siembras de los campos en polvo y las escasas reservas de grano guardadas a costa de grandes sacrificios. Y la uva se estropeaba por efecto de los años húmedos. Igualmente parece que la ganadería ovina, trashumante o no, tenía problemas para encontrar pastos suficientes. Tampoco sería muy halagüeña la vida en las zonas urbanas, con una población creciente y de pocos recursos, sometida a alzas de precios en los alimentos. Una desnutrición crónica es más que probable tanto en las ciudades como en el campo. Evidentemente, estos problemas climatológicos, relacionables con la Pequeña Edad de Hielo y fuertes episodios NAO y El Niño, ya eran anteriores a la erupción de Laki y se prolongaron una vez acabada la misma. Desde luego no fueron buenos

tiempos y algún autor (WOOD, 1992) llega a sugerir una relación directa entre los efectos del volcán y la Revolución francesa.

En el Alto Aragón es evidente que fueron años de penuria climatológica y, simultáneamente, se sufrieron una serie de epidemias que habían comenzado mucho antes. Por ejemplo, MASDEVALL (1786) indica que las calenturas pútridas ya habían llegado a Cataluña como consecuencia de la retirada de las tropas francesas que habían participado en la guerra con Portugal de 1762 a 1763. También es claro que una variante dura del paludismo se desarrolló de forma epidémica a partir de la segunda mitad de 1784, con inicio en el entorno de Lérida y que se contagia a gran parte de la fachada mediterránea española.

No es fácil responder a la cuestión de si los efectos de Laki se notaron en el Alto Aragón al igual que en el centro y el norte de Europa durante el periodo de erupción. Evidentemente, es perfectamente posible que polvo volcánico islandés alcanzase el Pirineo altoaragonés, como ya sucedió durante la erupción del Hekla en 1980-1981. Simulaciones diversas, por ejemplo CHENET y cols. (2005) y SCHMIDT y cols. (2011), indican que la propagación de niveles elevados de aerosoles como los de Laki pueden llegar a España. Escritos de autores de la época son claros en indicar que el verano de 1783 fue muy seco y con nieblas. El primer aspecto es similar a lo descrito en Centroeuropa. Y en cuanto a las nieblas veraniegas, en las condiciones actuales NAVARRO y DEL VALLE (1989) son taxativos al afirmar que en el centro del valle del Ebro “los días de niebla son inexistentes, especialmente durante el periodo estival”. Los autores contemporáneos pueden estar describiendo un fenómeno de *smog* prolongado, con deposición de partículas volcánicas y posible presencia de gases tóxicos. Esta deposición seca pudo tener efectos directos sobre la vegetación y pasar luego al suelo por lixiviación durante el invierno lluvioso. En esta línea, a pesar de ser un invierno muy húmedo, son interesantes las observaciones acerca de que los pastos fallaron, incluso a los dos meses de finalizar las lluvias, y de que hubo una mortandad de ovejas y de abejas. ¿Pudiera ser un problema de toxicidad? Por el contrario, no parece que los escritos consultados mencionen situaciones con atmósfera con el típico olor a anhídrido sulfuroso. Aunque citan repetidas veces la palabra *vapor*, parece que está relacionado con el olor de los enfermos o emanaciones de aguas estancadas.

Evidentemente, la población respiraba esta atmósfera. A partir del documento de Zaragoza redactado por Ased parece posible detectar una afección general a la salud pública en Zaragoza durante la erupción de Laki. Algunos de los síntomas, como dolor de cabeza, abatimiento o tos, son similares a los descritos en Centroeuropa. Además, es una afección no contagiosa y que no afecta a los conventos que hacen menos vida al exterior que los agricultores y jornaleros. El documento sobre Barbastro es más completo y complejo. Desde luego, también aumentó la mortalidad en el Alto Aragón, como sucedió en Centroeuropa. Es interesante señalar que se observó un efecto especial sobre los hombres de entre 18 y 60 años, sobre todo en los trabajadores que faenaban al aire libre, del mismo modo a como sucedió en el resto de Europa. Afectaba, sobre todo, a los madrugadores, una curiosa excepción al conocido refrán popular. Una de sus consecuencias, además de la falta de alimentos, fue la falta de mano de obra en las tareas del campo, que se tradujo en ausencia de leña y carbón vegetal, incluso en Huesca, tradicionalmente bien abastecida desde los pueblos del pie de la sierra. Curiosamente, al año siguiente, con la plaga de malaria ya establecida, el problema de la falta de combustible había remitido.

CONCLUSIÓN

A la vista de una serie de paralelismos de aspectos climáticos y sanitarios se puede sugerir un posible efecto de la erupción de Laki, en la Islandia meridional, sobre el Alto Aragón. Pero es necesario tener en cuenta que los efectos de la Pequeña Edad de Hielo y de varias epidemias, entre ellas la malaria, afectaban a la población del territorio.

La afección volcánica debe ser considerada con toda prudencia y, evidentemente, sería necesario un estudio más detallado. Por último, todo hace pensar que si hubiera en los momentos actuales una erupción similar muy probablemente tendría unos efectos sanitarios muy serios, además de los ya conocidos sobre el transporte aéreo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos los comentarios del doctor Luis Borderías, neumólogo del Hospital San Jorge de Huesca. La ayuda de Carlos Garcés, con su

impresionante conocimiento de la historia de Huesca, ha sido inestimable. Se agradece la colaboración y oportunos comentarios de Ana Oliva, Esther Puyol y Susana Navarro, de la biblioteca del IEA. Asimismo, la ayuda de María Jesús Torreblanca y del resto del personal del Archivo Municipal de Huesca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBEROLA, A. (2012). Un mal año en la España del siglo XVIII: clima, desastre y crisis en 1783. En X. Huetz de Lemps y Ph. Luis (eds.), *Sortir du labyrinthe. Études d'Histoire Contemporaine de l'Espagne en Hommage à Gérard Chastagnaret*: 325-346. Casa de Velázquez (Collection de la Casa de Velázquez, 131). Madrid.
- ALBEROLA, A., y M. BOX (2014). Sequía, temporales y cosechas deficitarias en el nordeste peninsular: un apunte de las consecuencias del “mal año” de 1783 en algunos corregimientos aragoneses y catalanes. En *Libro jubilar en homenaje al profesor Antonio Gil Olcina*: 845-860. Publicaciones de la Universidad de Alicante. Alicante.
- ASED, A. (1784). *Memoria instructiva de los medios de precaver las malas resultas de un temporal excesivamente húmedo, como el que se ha observado desde principios de setiembre de 1783 hasta últimos de abril de 1784. Leída en Junta General de la Real Sociedad Aragonesa de Amigos del País el día 7 de mayo*. Imprenta de Blas Medel. Zaragoza. 30 pp.
- ASED, A. (1786). *Historia de la epidemia acaecida en la ciudad en Barbastro el año 1784 y exposición del nuevo método curativo del Dr. J. Masdevall y Terrades*. Imprenta de Blas Medel. Zaragoza. 83 pp.
- ASSO, I. de (1798). *Historia de la economía política de Aragón*. Imprenta de Francisco Magallón. Zaragoza. 487 pp.
- BARRIENDOS M., y M.^a C. LLASAT (2003). The case of the “Maldá” anomaly in the Western Mediterranean basin (AD 1760-1800): An example of a strong climatic variability. *Climatic Change*, 61: 191-216.
- BLECUA, P. (1987 [1792]). *Descripción topográfica de la ciudad de Huesca y todo su partido en el Reyno de Aragón*. Prólogo de A. Naval. Guara. Zaragoza.
- BRAYSHAY, M., y J. GRATTAN (1999). Environmental and social responses in Europe to the 1783 eruption of the Laki fissure volcano in Iceland: A consideration of contemporary documentary evidence. En Callum R. Firth y W. J. McGuire (eds.), *Volcanoes in the Quaternary*: 173-187. The Geological Society (Special Publications, 161). Londres.
- CASAL, F. (1951). Dos epidemias de peste bubónica en Cartagena en el siglo XVII (1648 y 1676) y una terrible de paludismo en 1785. *Murgetana*, 3: 68-78.
- CHENET, A. L., F. FLUTEAU y V. COURTILLOT (2005). Modelling massive sulphate aerosol pollution, following the large 1783 Laki basaltic eruption. *Earth and Planetary Science Letters*, 236: 721-731.

- D'ALESSANDRO, W. (2006). Human fluorosis related to volcanic activity: A review. *Environmental Toxicology*, 1: 21-30.
- DURAND, M., y J. GRATTAN (1999). Extensive respiratory health effects of volcanogenic dry fog in 1783 inferred from documentary sources. *Environmental Geochemistry and Health*, 21: 371-376.
- FERNÁNDEZ CLEMENTE, E. (1987). Sobre la crisis de la ganadería española en la segunda mitad del siglo XVIII. *Cuadernos de Investigación Histórica*, 12: 89-102.
- FERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, M.^a I., J. M. VAQUERO, M.^a C. GALLEGRO y F. J. ACERO (s. f.). *Impacto climático de las grandes erupciones volcánicas de 1783, 1808 y 1815 en el suroeste de España*. Informe Proyecto Salvá-Sinobas. 2 pp.
- FERRER BENIMELI, J. A. (1987). D. Ramón de Pignatelli y el motín de Esquilache: una nueva versión del motín de Zaragoza. En *Actas del I Symposium del Seminario de Ilustración Aragonesa*: 89-102. DGA. Zaragoza.
- GIMÉNEZ-FONT, P. (2008). La epidemia de malaria de 1783-1786: notas sobre la influencia de anomalías climáticas y casos de usos del suelo en la salud humana. *Investigaciones Geográficas*, 46: 141-157.
- GRATTAN, J. (2005). Pollution and paradigms: Lessons from Icelandic volcanism for continental flood basalt studies. *Lithos*, 79: 343-353.
- GRATTAN, J., M. DURAND y S. TAYLOR (2003). *Illness and elevated human mortality in Europe coincident with the Laki Fissure eruption*: 401-414. The Geological Society (Special Publications, 213 [1]). Londres.
- GRATTAN, J., R. RABARTIN, S. SELF y T. THORDARSON (2005). Volcanic air pollution and mortality in France 1783-1784. *Comptes Rendus Géoscience*, 337: 641-651.
- LÓPEZ GONZÁLEZ, J. J. (1977). *Zaragoza a finales del XVIII (1782-1792)*. IFC. Zaragoza. 328 pp. 1 mapa.
- MASDEVALL, J. (1786). *Relación de las epidemias de calenturas pútridas y malignas que en los últimos años se han padecido en el principado de Cataluña; y principalmente de la que se descubrió el año pasado de 1783 en la Ciudad de Lérida, Llano de Urgel y otros muchos Corregimientos y Partidos, con el método feliz, pronto y seguro de curar semejantes enfermedades*. 2.^a ed. Imprenta Real. Madrid. 153 pp.
- MERTENS, C. de (1791). *Observationes medicae de febribus putridis, de peste, nonnullisque aliis morbis*. Sumptibus Typographiae Monasterii S. Salvatoris et Balthassaris Comini Bibliopolae. Tesino. 158 pp.
- MORENO, A. (1984). Población y producción agrícola en el norte aragonés (1598-1820). En *Actas del Congreso de Historia Rural. Siglos XV al XIX*: 471-498. Casa de Velázquez / Universidad Complutense de Madrid. Madrid.
- NAVARRO, M. L. H., y J. DEL VALLE (1989). Las nieblas en la depresión del Ebro: el caso del Campo de Zaragoza y la Hoya de Huesca. *Geographicalia*, 26: 125-140.

- NIETO, J. J., y J. R. BOSCH (1992). La epidemia de tercianas de 1783-1785 en Barbastro y su corregimiento: miseria, mortandad y asistencia a finales del Antiguo Régimen. *Somontano*, 2: 64-83.
- PÉREZ SARRIÓN, G. (1988). *La integración de Zaragoza en la red urbana de la Ilustración (1700-1808)*. Ayuntamiento de Zaragoza / Caja de Ahorros de la Inmaculada (Historia de Zaragoza, 10). Zaragoza. 92 pp.
- PÉREZ SARRIÓN, G. (1999). *Aragón en el Setecientos: crecimiento económico, cambio social y cultura*. Milenio. Lérida. 521 pp.
- RIERA J., y A. ROJO (1988). Spanish agriculture and malaria in the 18th century. *History and Philosophy of the Life Sciences*, 10 (2): 343-362.
- ROSADO, M.^a I., y M. C.^a VIDAL (1985). Paludismo en el siglo XVIII: grandes epidemias de tercianas afectaron al este español en los años 1784 y 1785. En *IV Congrés d'Història de la Medicina Catalana: actes, I*: vol. 1, 325-332.
- SATUÉ, E. (1991). *Religiosidad popular y romerías en el Pirineo*. IEA. Huesca. 307 pp.
- SCHMIDT, A., B. OSTRO, K. S. CARSLAW, M. WILSON, TH. THORDARSOND, W. GRAHAM, G. W. MANN y A. J. SIMMONS (2011). Excess mortality in Europe following a future Laki-style Icelandic eruption. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108 (38): 15710-15715.
- SIGURDSSON, H. (1982). Volcanic pollution and climate: The 1783 Laki eruption. *EOS*, 63 (32): 601-602.
- STONE, R. (2004). Iceland's Doomsday Scenario? *Science*, 306 (5700): 1278-1281.
- THORDARSON, T. (2003). The 1783-1785 AD Laki-Grímsvötn eruptions I: A critical look at the contemporary chronicles. *Jökull*, 53: 1-10.
- THORDARSON, T., G. LARSEN, S. STEINTHORSSON y S. SELF (2003). The 1783-1785 AD Laki-Grímsvötn eruptions II: Appraisal based on contemporary accounts. *Jökull*, 53: 11-47.
- THORDARSON, T., y S. SELF (2003). Atmospheric and environmental effects of the 1783-1784 Laki eruption: A review and reassessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984-2012), 108 (D1): AAC-7-29.
- VILLALBA, J. de (1802). *Epidemiología española o Historia crónica de las pestes, contagios epidemias y epizootias que han acaecido en España desde la venida de los cartagineses hasta el año 1801*. Tomo II. Imprenta de Mateo Repollés. Madrid. 358 pp.
- WITHAM, C. S., y C. OPPENHEIMER, C. (2005). Mortality in England during the 1783-4 Laki Craters eruption. *Bulletin Vulcanology*, 67: 15-26.
- WOOD, C. A. (1992). The climatic effects of the 1783 Laki eruption. En C. R. Harrington (ed.), *The Year Without a Summer?*: 58-77. Canadian Museum of Nature. Ottawa.

ESTUDIO POBLACIONAL Y BIOMÉTRICO DEL TRITÓN PIRENAICO EN EL PARQUE NACIONAL DE ORDESA Y MONTE PERDIDO

Víctor Julián PIRACÉS¹
Rocío LÓPEZ-FLORES²
Ernesto PÉREZ-COLLAZOS³

RESUMEN.— En el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (Huesca) está presente el tritón pirenaico (*Calotriton asper*), un endemismo de los Pirineos. Durante el año 2014, se llevó a cabo el seguimiento de un transecto de 100 metros en nueve barrancos, a los cuales se realizaron seis visitas, comprendidas entre los meses de abril y agosto, en las que se obtuvieron datos demográficos y biométricos. Los resultados corroboraron la presencia de la especie en todas las localidades estudiadas, así como la confirmación de la reproducción en todas ellas, excepto en Ordesa 1 y Ordesa 2, donde no se detectaron larvas en el transecto estudiado. Los datos demográficos se añadieron a la base de datos facilitada por la Sociedad Aragonesa de Gestión Agroambiental (SARGA), correspondiente al periodo 2007-2013, y se utilizaron para censar y determinar el estado de las poblaciones de cada barranco, mientras que los datos biométricos se utilizaron para interpretar cómo influye el hábitat en la biometría del tritón pirenaico. Se detectaron un total

Recepción del original: 10-12-2015

¹ Paseo del Muro 28, 5.ª. E-50600 EJEA DE LOS CABALLEROS. vjpiraces@gmail.com

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

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

de 118 larvas y 311 adultos de *Calotriton asper*, y destacaron los barrancos de los valles de Escuaín y Añisclo, por presentar el mayor número de larvas y de individuos adultos, respectivamente. Los resultados biométricos mostraron que las hembras de *Calotriton asper* alcanzaron un peso inferior a los machos, a pesar de presentar una longitud de la cola superior que estos. Los datos demográficos muestran la ocurrencia de descensos poblacionales interanuales, que podrían estar relacionados con las avenidas extremas y las sequías acontecidas en fechas posteriores. En un escenario de cambio global, estos factores podrían contribuir a empeorar la situación de la especie, por lo que será necesario proseguir con los estudios sobre la incidencia de los cambios ambientales extremos en ecología y supervivencia del tritón pirenaico.

ABSTRACT.— *Calotriton asper* is a Pyrenean endemic species that inhabits in the National Park of Ordesa and Monte Perdido, located in Huesca, Aragón (Spain). Demographic and biometric data were obtained from six visits conducted to 100 m transects in nine mountain streams between April and August of 2014. Results have confirmed the presence of the species in all the studied localities, and its reproduction in all localities but Ordesa 1 and Ordesa 2. Demographic results were added to the data provided by the Aragonese Society of Agro-Environmental Management SARGA for the 2007-2013 period, and they were used to interpret how the habitat affects Pyrenean newt biometrics. 118 larva and 311 adults of *Calotriton asper* were detected in all localities; Escuaín's and Añisclo's streams showed the highest number of larva and adults, respectively. Biometric results showed that females presented less weight than males, despite of the fact that the former showed longer tails. Results showed an inter-annual reduction of the studied populations. This could be related, in some extent, with rapid and unexpected floods and drought periods. In a Global Change scenario, this inter-annual loss of individuals could contribute to put the species conservation at risk. As a result, further studies must be conducted to understand the ecological and survival effect of extreme environmental changes in the Pyrenean newt.

KEY WORDS.— *Calotriton asper*, demography, sexual dimorphism, Pyrenees, habitat, Huesca, Aragón (Spain).

INTRODUCCIÓN

En la actualidad nos encontramos inmersos en una “crisis de la biodiversidad” (BLAUSTEIN y WAKE, 1990): muchas especies animales se hallan al borde de la extinción. Se conocen aproximadamente 7326 especies de anfibios distribuidos en casi todo el mundo, que habitan en una gran variedad de hábitats, desde selvas tropicales hasta desiertos (AmphibiaWeb, 2014). A pesar de que hoy en día se siguen descubriendo nuevas especies

(DEHLING, 2015), los anfibios son especialmente sensibles a una serie de problemas ambientales como los cambios en los usos de la tierra, los cambios de los regímenes hídricos y la sobreexplotación (COLLINS y cols., 2003); el incremento de la radiación UV-B (BLAUSTEIN y cols., 1998); la degradación de los hábitats por contaminación (BLAUSTEIN y cols., 2003); la introducción de especies exóticas (RODRÍGUEZ y cols., 2015); las alteraciones climáticas a escala mundial en temperatura y régimen de precipitaciones (POUNDS y cols., 1999), y la aparición de enfermedades (BOSCH, 2003). Debido a ello, los anfibios han sido empleados habitualmente como bioindicadores de la salud ambiental y con frecuencia en programas de seguimiento ecológico (GAINES y cols., 1999). Su dramático descenso a escala global demuestra una degradación acelerada de su hábitat a consecuencia de la cual, otras especies podrían encontrarse en peligro (GARDNER, 2001).

La diversidad de anfibios en España no es muy alta (39 especies); sin embargo, 14 de ellas son endemismos (PLEGUEZUELOS y cols., 2002), por lo que su conservación resulta prioritaria. El Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (a partir de ahora, PNOMP) se encuentra situado al norte de la provincia de Huesca (Aragón), en el Pirineo central; es el segundo parque nacional más antiguo de España (agosto de 1918). Está constituido por cuatro valles: Ordesa al suroeste, Añisclo al sur, Escuaín al sureste y Pineta al este. En el PNOMP se encuentra el macizo calcáreo más alto de Europa, Monte Perdido (3348 metros). Con sus más de 15 000 hectáreas, el PNOMP constituye un espacio de conservación de importantes recursos naturales y de diferentes especies de invertebrados y vertebrados (9 especies de anfibios, 15 de reptiles, 3 de peces, 130 de aves nidificantes y 56 de mamíferos) (GARCÍA-GONZÁLEZ, 2005; GRASA y WOUTERSEN, 2002), entre ellas muchas singulares, como el tritón del Pirineo.

El tritón pirenaico (*Calotriton asper* Dugès, 1852) es un endemismo pirenaico que se distribuye en España, Francia y Andorra; ocupa potencialmente toda la cordillera pirenaica y prepirenaica (LLORENTE y cols., 1995; BARBADILLO y cols., 1999). Aunque la especie se halla en distintos ambientes, su hábitat característico son los torrentes de media y alta montaña con fuerte desnivel, con riberas más vegetadas en unas localidades que en otras y fondos formados por piedras y grava y ausencia de limos y vegetación en el lecho (CLERGUE-GAZEAU y MARTÍNEZ-RICA, 1978; MONTORI y HERRERO,

2004). Existen diversos factores que están actuando negativamente en las poblaciones de tritón: uno de los más relevantes es la introducción de salmónidos, que depredan, fragmentan y aislan los núcleos poblacionales del tritón, así como factores que alteran y que pueden destruir los hábitats acuáticos, como, por ejemplo, la construcción de diques y embalses o el uso de plaguicidas (MONTORI y LLORENTE, 2014).

Debido a su valor biológico endémico está protegido a nivel europeo por el Convenio de Berna, y catalogado como “Casi Amenazado” en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN a nivel mundial, categoría que coincide con su situación en España, aunque algunos autores han propuesto catalogarlo como “Vulnerable” (BOSCH y cols., 2006, 2008a, 2008b). El tritón pirenaico está incluido en el anejo II del Convenio de Berna y en el II y IV de la Directiva Hábitats. A nivel regional, en Euskadi, la especie está catalogada como de Interés Especial (LOZANO y CADIANOS, 2007), al igual que en Navarra, mientras que en Aragón no se incluye en el catálogo autonómico y en Cataluña está catalogada como protegida. En Francia está incluida como “Rara” o “Casi Amenazada” en el Libro Rojo de los Vertebrados de Francia (MAURIN, 1995).

Teniendo en cuenta estos antecedentes y los escasos estudios de conservación realizados sobre la especie, este trabajo tuvo como propósito estudiar nueve barrancos en el PNOMP, en los que se plantearon los siguientes objetivos:

- Evaluar la presencia de *Calotriton asper* mediante censos de puestas de huevos, larvas, juveniles, subadultos y adultos.
- Determinar los estados fenológicos mediante la toma de datos morfológicos.
- Caracterizar el hábitat de la especie mediante la toma de datos sobre la biocenosis (presencia de otros anfibios, peces, ganado, etcétera) y abióticos (temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad, sustrato del cauce e insolación, entre otros).

MATERIAL Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en el PNOMP, contando con la autorización y colaboración de los gestores y guardas del parque. Los nueve barrancos estudiados corresponden a tres valles diferentes: los barrancos Ordesa 1,

Ordesa 2 y Ordesa 3 en el valle de Ordesa, los barrancos Añisclo 1, Añisclo 2 y Añisclo 3 en el valle de Añisclo, y los barrancos Escuaín 1, Escuaín 2 y Escuaín 3 en el valle de Escuaín.

El trabajo de campo se realizó durante los meses comprendidos entre abril y agosto de 2014, a lo largo de un transecto de 100 metros en cada una de las nueve localidades seleccionadas. Con el fin de describir los barrancos estudiados, se marcaron sobre cartografía los puntos iniciales y finales de la prospección del barranco (donde se indicó el punto de inicio y final del muestreo), tomando coordenadas geográficas de dichos puntos con un GPS. Se describió el hábitat de cada localidad, mediante la toma de datos sobre la biocenosis y abióticos (presencia de otras especies, sustrato del cauce e insolación), anotando estas características en una ficha. También se registraron las características fisicoquímicas del agua en cada localidad (pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad) mediante una sonda multiparamétrica (HACH-Lange, USA).

Se intentó capturar el máximo número posible de individuos en cada una de las localidades, para lo cual se utilizó un salabre de 15 × 12 centímetros. Se registró el estado fenológico de todos los contactos producidos con tritón pirenaico y se les tomaron las mediciones biométricas. Para esto último se usó un calibre digital de precisión 0,01 milímetros y una balanza digital de precisión 0,01 gramos, y a continuación se procedió a la suelta de los especímenes en el mismo lugar donde fueron capturados. Durante la manipulación de los individuos se emplearon guantes de látex para cada localidad y se realizó una limpieza y desinfección mediante un pulverizador con producto antifúngico de todos los materiales que estuvieron en contacto con el agua o que habían sido utilizados para la medición, pesaje o captura de los individuos, con el objetivo de evitar la propagación de enfermedades entre una localidad y otra.

Se obtuvo el número de individuos pertenecientes a los diversos estadios detectados en las diferentes visitas realizadas a cada uno de los núcleos poblacionales estudiados a lo largo de 2014. Adicionalmente, se emplearon datos poblacionales registrados por SARGA (GÓMEZ y cols., 2013) en el PNOMP, en diferentes muestreos desde 2007 hasta 2013; con estos datos se representó la tendencia poblacional histórica de la especie desde el año 2007 hasta 2014.

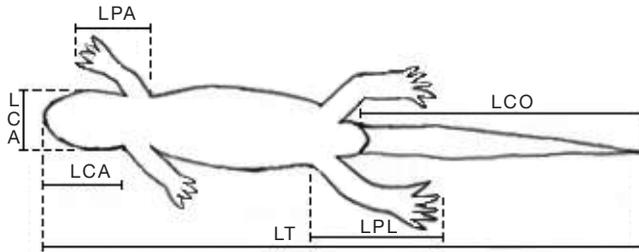


Fig. 1. Medidas biométricas tomadas a *Calotriton asper*.

En campo se tomaron las siguientes medidas de uno de cada tres de los especímenes capturados (BLANCO VILLERO, 1995): longitud de la cabeza (LCL), ancho de la cabeza (LCA), longitud de la pata anterior (LPA), longitud de la pata posterior (LPP), longitud de la cola (LCO) y longitud total (LT) en milímetros (fig. 1). Se diferenció entre machos y hembras observando el órgano reproductor de cada individuo.

Se realizaron análisis estadísticos descriptivos (media, desviación típica, mínimos y máximos) de las variables medidas. Se comprobó la normalidad y homogeneidad de varianzas de las variables continuas, tanto ambientales como las correspondientes a la biometría del tritón pirenaico, con el test de Kolmogórov-Smirnov y Levene, respectivamente. Se realizó la prueba Kruskal-Wallis con el objetivo de determinar diferencias en las variables biométricas en función del sexo de los organismos (MONTORI y LLORENTE, 2014) y en función del barranco. Con el fin de determinar la relación entre las variables biométricas de la especie y las variables abióticas se realizó el test de correlación no paramétrico de Spearman. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el programa PA.

RESULTADOS

Presencia y evolución poblacional de Calotriton asper en los barrancos del PNOMP

Durante las seis visitas realizadas a lo largo de 2014 a los núcleos poblacionales de *Calotriton asper* se detectaron un total de 118 larvas y 311 adultos (fig. 2, tabla 1). El mayor número de larvas se encontró en el valle de



Fig. 2. Adulto de tritón pirenaico (izquierda) y estadio larvario (derecha).

Escuaín, seguido por Añisclo, mientras que las localidades del valle de Añisclo presentaron el mayor número de adultos, seguido por las localidades del valle de Escuaín. Por su parte, las localidades del valle de Ordesa presentaron los valores más bajos de larvas y adultos. A pesar de los esfuerzos de muestreo, no se consiguió detectar ningún juvenil ni subadulto en ninguno de los núcleos poblacionales estudiados.

Tabla 1. Número de individuos (contactos) de *Calotriton asper* detectados en los valles estudiados.

| <i>Sector</i> | <i>Larvas</i> | <i>Juvenil</i> | <i>Subadultos</i> | <i>Adultos</i> |
|---------------|---------------|----------------|-------------------|----------------|
| Ordesa | 12 | 0 | 0 | 43 |
| Añisclo | 23 | 0 | 0 | 153 |
| Escuaín | 83 | 0 | 0 | 115 |
| <i>Total</i> | <i>118</i> | <i>0</i> | <i>0</i> | <i>311</i> |

La figura 3 superior muestra la abundancia de larvas durante el periodo en el que se realizó el estudio: no se detectaron larvas en dos barrancos (Ordesa 1 y Ordesa 2), mientras que Ordesa 3, Escuaín 2 y Escuaín 3 presentaron larvas durante todo el periodo de estudio, excepto en la primera quincena de mayo. Los valores más bajos de abundancia de larvas se detectaron en los barrancos Añisclo 1, Añisclo 3 y Escuaín 1; los más altos, en Escuaín 2 (fig. 3). En contraposición al escaso número de larvas, se detectaron adultos en todos los barrancos estudiados, especialmente en Añisclo 1, Añisclo 2, Escuaín 2 y Escuaín 3, donde se observaron adultos en todas las

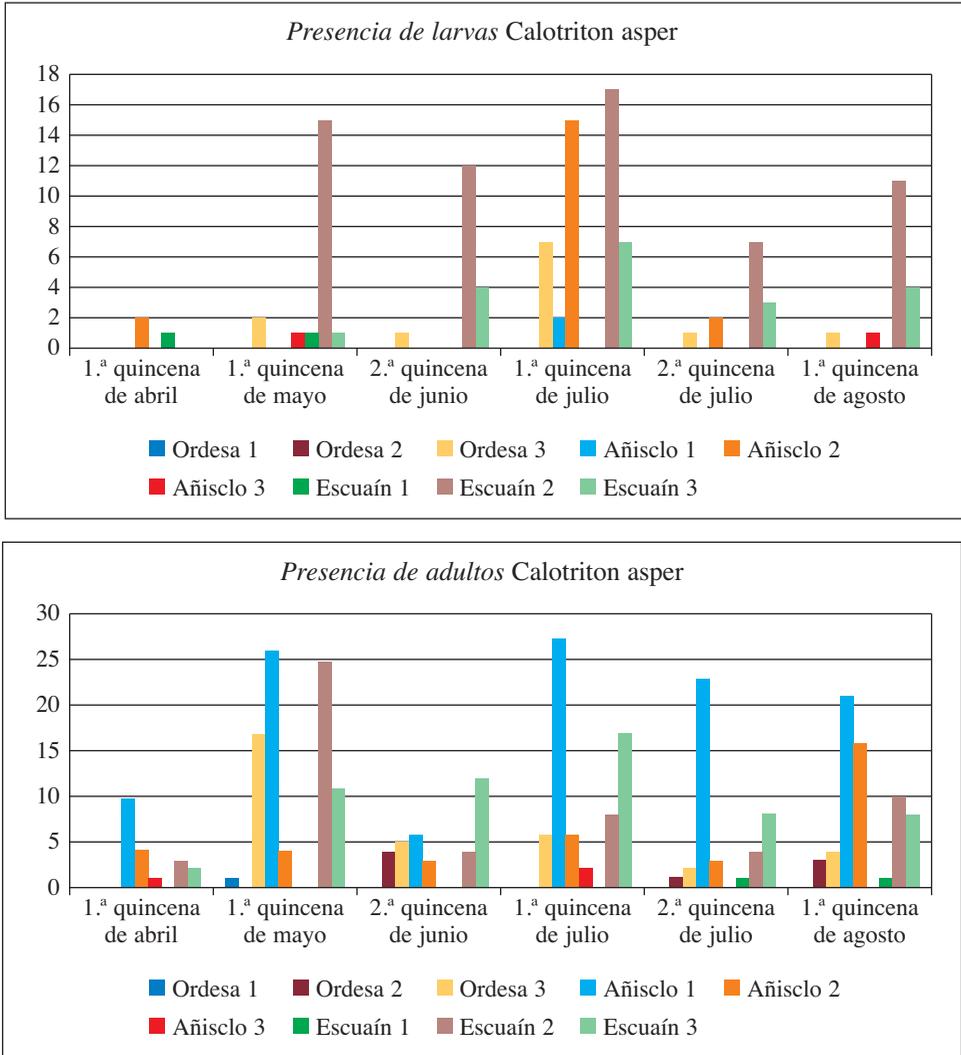


Fig. 3. Número de larvas y adultos de *Calotriton asper* detectadas en los nueve barrancos estudiados en el PNOMP.

visitas realizadas (fig. 3). Los valores más bajos se encontraron en los barrancos de Ordesa 1, Escuaín 1 y Añisclo 3.

La tendencia poblacional de *Calotriton asper* en los últimos años mostró un incremento general de individuos, con algunas fluctuaciones en los años 2011 y 2014, y el valor máximo alcanzado de 105 individuos en los años

2012 y 2013 (fig. 4). En la figura 5 se muestran las tendencias poblacionales de dos de los barrancos estudiados en el PNOMP desde 2007 hasta 2014. El barranco Añiscló 1 presentó los valores más altos de todos los estudiados; en los últimos ocho años se han observado un total de 237 individuos, con una media anual cercana a 30 individuos, en la que destaca el fuerte descenso sufrido en el año 2011. En ese año, el barranco Añiscló 2 también presentó un fuerte descenso en el número de individuos adultos; los datos de 2014 para este barranco fueron inferiores a la media de los últimos tres años (fig. 5). Cabe resaltar que en la mayoría de los núcleos poblacionales se producen descensos muy significativos en el año 2011 y que los valores obtenidos en 2014 son más bajos que los del año anterior.

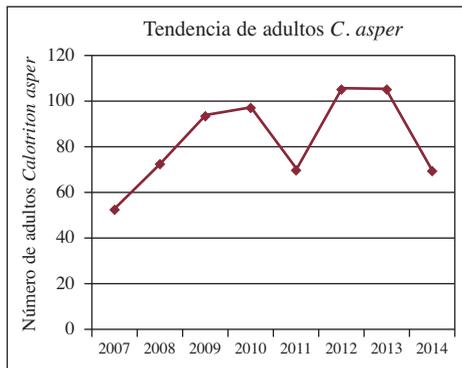


Fig. 4. Tendencia poblacional global de adultos de *Calotriton asper* durante el periodo 2007-2014 en los barrancos estudiados del PNOMP.

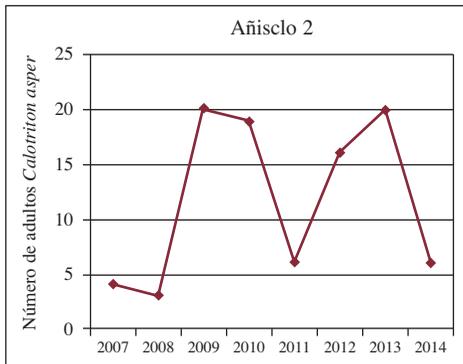
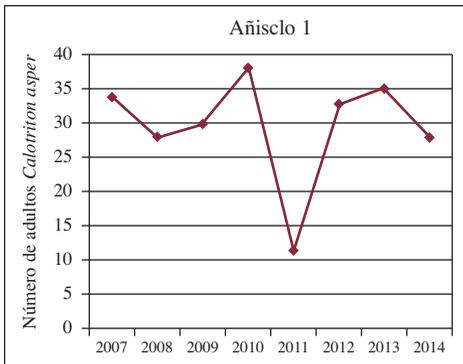


Fig. 5. Tendencia poblacional de adultos de *Calotriton asper* durante el periodo 2007-2014 en los barrancos Añiscló 1 y Añiscló 2.

Calotriton asper y su biometría en los barrancos del PNOMP

Se estudiaron un total de 157 individuos (7 larvas y 150 adultos). Las pruebas de Kolmogórov-Smirnoff y Levene mostraron ausencia de normalidad y homogeneidad de la varianza de las variables estudiadas.

El test de correlación de Spearman entre las variables biométricas mostró que estas estaban fuertemente relacionadas las unas con las otras. Por lo tanto, se seleccionaron las variables peso, longitud de cola y longitud total como representativas del resto de variables biométricas para los siguientes análisis.

La prueba de Kruskal-Wallis determinó la existencia de diferencias significativas entre el peso ($p < 0,0001$) y la longitud de la cola (LCO; $p < 0,0001$) de los adultos según su sexo; sin embargo, no hubo diferencias entre sexos para la longitud total ($p = 0,13$; fig. 6).

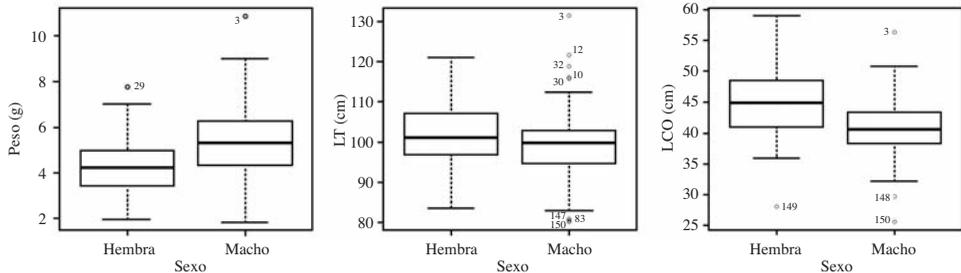


Fig. 6. Diagrama de caja para el peso ($p > 0,0001$), la longitud total (LT; $p = 0,13$) y la longitud de cola (LCO; $p > 0,0001$) de los adultos de *Calotriton asper* según su sexo.

Características del hábitat y efecto del medio sobre la presencia de anfibios y la biometría de Calotriton asper

En los nueve barrancos estudiados fueron diversos los factores causantes de perturbación potencial del hábitat de la especie estudiada. La presencia humana fue frecuente en todos ellos, excepto en Ordesa 1, en donde fue esporádica. Se registró a su vez una presencia de ganado esporádica en Ordesa 1 y Ordesa 2, frecuente en Ordesa 3 y muy frecuente en el resto de barrancos. Se observó la presencia de otras especies de anfibios en distintos barrancos. En Ordesa 1 se detectaron larvas de sapo común (*Bufo bufo*), en Añisclo 1, Añisclo 2, Añisclo 3 y Escuaín 3 se observaron adultos y larvas de sapo partero común (*Alytes obstetricans*) y en Escuaín 1 y Escuaín 2

se hallaron ambas especies tanto en fase adulta como larvaria. Además, se observaron individuos adultos y larvas de rana pirenaica (*Rana pyrenaica*) en todos los barrancos, salvo en Ordesa 1 y en Escuaín 1, y en este último, larvas de esta especie.

En cuanto a la vegetación circundante, los barrancos de los valles de Ordesa y Escuaín presentaron un bosque de ribera bien formado, mientras que los barrancos del valle de Añisclo estaban asentados sobre pastos alpinos. Respecto al tipo de margen, Ordesa 1, Ordesa 2, Ordesa 3, Escuaín 1 y Escuaín 3 ofrecieron un sustrato rocoso, mientras que el del resto de barrancos era pedregoso-rocoso. El cauce de los barrancos resultó similar al tipo de margen, salvo en el caso de Escuaín 3, que presentó un margen pedregoso.

Los cuerpos de agua correspondieron a la tipología de torrente. La totalidad de los barrancos que forman parte de este estudio tuvieron agua circulante durante todo el periodo de muestreo. En relación con el tamaño de las badinas, el conjunto de barrancos presentaron entre 1 y 10 m² de superficie. En el 100% de los barrancos el agua fue calificada como “muy clara”. El valor más alto de la temperatura se registró en Añisclo 3 (27,93 °C). En contraposición, el valor mínimo de la temperatura del agua corresponde al barranco Ordesa 3 (5,20 °C). El pH no mostró grandes diferencias entre los barrancos: el valor máximo lo ofreció Escuaín 2 (8,99) y el valor mínimo, Ordesa 3 (7,61). En el caso del oxígeno, el valor más elevado se observó en Ordesa 3 (9,84 mg/l) y el menor valor en Añisclo 3 (7,16 mg/l). Los barrancos Escuaín 1 y Ordesa 3 presentaron los valores más altos y más bajos de conductividad, respectivamente (227 μ S/cm y 113 μ S/cm).

Se realizó el test de correlación de Spearman entre los parámetros físico-químicos y las variables biométricas de los adultos de *Calotriton asper*. No obstante, no se obtuvieron valores de correlación suficientemente elevados como para afirmar la existencia de correlación entre estos datos: la correlación inversa entre el pH y el peso fue la que presentó el valor más alto ($r = -0,266$; $p < 0,001$).

La prueba Kruskal-Wallis permitió detectar diferencias significativas en la LT y la LCO de los adultos según el barranco ($p < 0,01$ y $p < 0,001$, respectivamente). En el caso del peso no se apreciaron diferencias significativas. En los barrancos de Añisclo 3 y Escuaín 1 se encontraron los individuos de

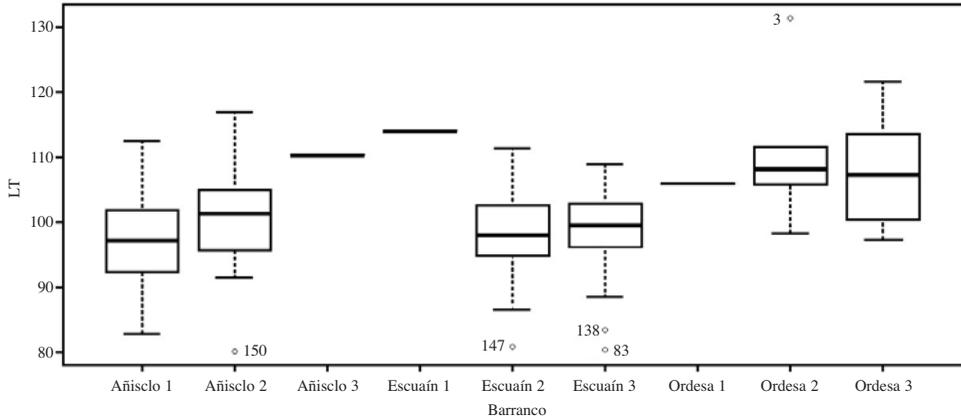


Fig. 7. Diagrama de caja para la longitud total (LT) de los adultos de *Calotriton asper* en cada uno de los barrancos estudiados ($p < 0,01$).

Calotriton asper con mayor longitud, seguidos de los barrancos del valle de Ordesa (fig. 7), donde la especie además era más abundante. Las LT menores se encontraron en el barranco Añiselo 1. El patrón del diagrama de la longitud de la cola según el barranco (no mostrado) es similar al que se observa en la figura 7.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Presencia y evolución poblacional de Calotriton asper en los barrancos del PNOMP

Los resultados de este estudio mostraron la presencia de *Calotriton asper* en todas las localidades estudiadas. También se confirmó que la reproducción de la especie se produjo en todas las localidades excepto en Ordesa 1 y Ordesa 2, donde no se encontraron larvas durante este estudio (fig. 3), aunque no se puede confirmar su ausencia. Destacaron los núcleos poblacionales de Escuaín por el alto número de larvas encontradas y las de Añiselo por la elevada cantidad de adultos observados (tabla I), y fue en el valle de Ordesa donde menos contactos se produjeron con cualquiera de los estadios de la especie. Este hecho podría estar relacionado con los bajos caudales que presenta el valle de Ordesa en comparación con los otros dos valles; por lo tanto, los recursos hídricos de los barrancos dependen,

básicamente, de las surgencias naturales, las cuales en periodos de sequía podrían no ser suficientes para mantener el régimen hídrico, lo que afectaría a la fauna acuática de los barrancos estudiados. No se consiguió detectar puestas de *Calotriton asper* y, por lo tanto, de huevos. La detectabilidad de puestas de esta especie es compleja, ya que son depositadas bajo piedras o en las grietas de las rocas, lo cual dificulta en gran medida su detección (MONTORI, 1988). Se encontraron 118 larvas, pero debido a la complejidad y el esfuerzo dedicado a la captura de las larvas se optó por no tomar datos de estas fases de desarrollo para no comprometer la supervivencia de los ejemplares. No existe información previa sobre los núcleos poblacionales de tritón pirenaico en la zona, por lo que no puede conocerse su dinámica con anterioridad al año 2007.

Se detectaron larvas de tritón desde la primera visita, realizada en el mes de abril. En este aspecto destacó el barranco Escuaín 2, donde se encontró un elevado número de larvas. La época de reproducción de *Calotriton asper* no está claramente definida, los *amplexus* se producen a lo largo de todo el año (DESPAX, 1923; CLERGUE-GAZEAU, 1971; THIESMEIER y HORNBERG, 1990). Sin embargo, MONTORI (1988) indica un aumento en el número de *amplexus* entre los meses de marzo y julio. Durante el desarrollo de este estudio se descubrieron *amplexus* en los meses de julio y agosto (datos no mostrados) en todas las localidades estudiadas salvo en Ordesa 1 y Ordesa 2. Se encontraron individuos adultos en todas las localidades (fig. 3), y fueron Añisclo 1 y el mes de mayo, mes central de la época reproductora (MONTORI, 1988), el barranco y el periodo en que mayor número de adultos se detectaron.

No se encontró ningún juvenil ni subadulto en los barrancos estudiados. En el caso de los juveniles, se debe a que las larvas no llegaron a completar la metamorfosis en el periodo de estudio. En el caso de los subadultos, es difícil hallar a estos ejemplares porque llevan una vida terrestre; solamente se han detectado en ocasiones puntuales que confirman que se alejan mucho del cauce (DESPAX, 1923; MONTORI, 1988).

El seguimiento anual de la especie permitió observar que a partir de 2007 se produjo un incremento en el número de adultos, hasta 2011, cuando se produjo un descenso acusado. Cabe destacar que este año fue muy seco (GÓMEZ y cols., 2013), lo que pudo afectar a la actividad y, por lo tanto, la detectabilidad de *Calotriton asper*. A partir de 2011 la abundancia de

adultos se incrementa hasta que se produce un nuevo descenso en 2014. Este descenso se presentó en todos los núcleos poblacionales excepto en Ordesa 3 (fig. 4). Las fluctuaciones en el número de individuos detectados podrían deberse al abandono del cauce por parte de los mismos de forma voluntaria o involuntaria. Diversos estudios muestran que durante las crecidas y avenidas los tritones se dirigen primero hacia las orillas, donde la corriente es menor, e incluso salen del agua si la avenida es importante y se refugian en las márgenes del curso, fuera de él, hasta que la corriente disminuye (CLERGUE-GAZEAU y MARTÍNEZ-RICA 1978). MONTORI y cols. (2008) afirman que *Calotriton asper* es capaz de desplazarse longitudinalmente hasta 50 metros en hábitats torrentícolas; por lo tanto, puede ser posible que hayan existido desplazamientos aguas arriba o aguas abajo de las zonas de estudio o incluso fuera del cuerpo de agua en determinados periodos. Por otra parte, COLOMER y cols. (2014) realizaron un modelo para predecir la extinción de esta especie con el incremento de avenidas extremas (50 l/m²/día, con un periodo de retorno actual de cuatro años) previsto en un escenario de cambio climático. Las conclusiones mostraron una disminución considerable de la población de larvas tras las lluvias torrenciales, que tenían como consecuencia la reducción o incluso la inexistencia del reclutamiento tres años después, cuando los individuos alcanzaban la madurez sexual. La dinámica poblacional de los depredadores naturales (ranas pardas y sapos comunes) y los hábitos crepusculares y nocturnos de la especie, que dificultan su detección durante el día (HERVANT y cols., 2000), son también posibles fuentes de variabilidad del número de individuos a lo largo de los años.

Debe prestarse especial atención a las perturbaciones ambientales, que puedan mermar los núcleos poblacionales de este anfibio que ya se encuentra en una situación sensible y cuyo reducido movimiento direccional y su estructura poblacional constante (MONTORI y cols., 2008) implican una conectividad entre núcleos poblacionales escasa.

Diferencias biométricas relacionadas con el sexo en Calotriton asper en los barrancos del PNOMP

En lo referente al peso de los adultos de *Calotriton asper*, los machos alcanzaron pesos superiores (5,21 gramos) a las hembras (4,33 gramos), lo

que coincide con lo obtenido en otros estudios (SERRA-COBO y cols., 2000). Nuestros resultados mostraron que la media de la longitud total del cuerpo (LT) de *Calotriton asper* es muy similar entre hembras (101,54 milímetros) y machos (99,64 milímetros), aunque algunos machos presentaron valores atípicos: uno de ellos alcanzó el valor máximo detectado (131,40 milímetros). Los valores medios hallados fueron un poco menores que los reportados para la especie por MONTORI y LLORENTE (2014), quienes registraron una longitud de adultos de 80 a 160 milímetros, las hembras ligeramente más grandes que los machos. Estos autores también indicaron que los machos presentan una cola más corta y robusta debido a que las vértebras caudales de este sexo en la región proximal presentan unas apófisis espinosas y transversas mucho más desarrolladas que en las hembras, lo que coincide con nuestros resultados, en donde la longitud de la cola en los machos fue significativamente menor (40,81 milímetros y 44,77 milímetros, respectivamente).

Características del hábitat y efecto del medio sobre la biometría y abundancia de Calotriton asper

Son diversos los focos detectados de perturbación potencial del hábitat de la especie durante la realización de este trabajo. El ganado puede ocasionar bajas poblacionales debido a pisoteo en los alrededores de los barrancos (Fernando Carmena, comunicación personal). Además del pisoteo, el aporte de materia orgánica en aguas con poca renovación podría desencadenar la eutrofización del agua y agravar la presión de ausencia hídrica del barranco en épocas de sequía, tal como se observó en julio de 2014, cuando el ganado redujo considerablemente el poco volumen de agua restante en varias localidades. Sin embargo, al contrario de lo esperado, las localidades que presentaron un mayor número de individuos fueron las zonas con mayor presencia de ganado continuo (barrancos de los valles de Añisclo y Escuaín). La presencia de seres humanos no pareció afectar a los individuos, aunque los humanos pueden actuar como agente portador de enfermedades como el hongo *Batrachochytrium dendrobatidis* (BOSCH, 2003; PIOTROWSKI y cols., 2004), especie que ha sido causante del declive más importante en los últimos años de las poblaciones de anfibios a nivel mundial (KOLBY y cols., 2015).

Se desconoce la incidencia que mamíferos carnívoros como nutrias y otros mustélidos pueden tener sobre el tritón pirenaico, ya que podría ser una presa potencial (GÓMEZ y cols., 2013). En la mayor parte de la bibliografía de *Calotriton asper* se indica que la trucha de río, *Salmo trutta*, es su principal depredador (DESPEX, 1923; MONTORI y HERRERO, 2004; GÓMEZ y cols., 2012), aunque de forma general cualquier especie íctica de mediano tamaño puede convertirse en su potencial depredador. No es habitual la presencia de estos salmónidos en los barrancos estudiados, pero sí que se encuentran en los ríos donde desembocan estos afluentes, en los cuales el número de individuos de *Calotriton asper* es más escaso (GÓMEZ y cols., 2013). Los reptiles también depredan al tritón pirenaico, en el valle de Añisclo se observó depredación de tritón pirenaico por culebra de agua (*Natrix maura*) (Ramón Antor, comunicación personal). En el caso de los mamíferos carnívoros, no se encontraron restos de excrementos en las riberas de los barrancos, aunque no se descarta su presencia.

Las variables ambientales son esenciales en la supervivencia y el desarrollo de las comunidades. Las funciones vitales de cada especie se desarrollan en un rango óptimo de cada una de estas variables. Dentro de ese rango óptimo las alteraciones de algunas variables pueden suponer cambios en la actividad o fisiología del organismo. Por ejemplo, el pH no es una variable que condicione la presencia o ausencia de anfibios, aunque los valores bajos de pH y las fuertes variaciones pueden limitar su desarrollo (CHAMBERS, 2011). Los valores registrados de las diferentes variables ambientales estudiadas coincidieron con los rangos óptimos determinados por otros investigadores (GÓMEZ y cols., 2013); sin embargo, no se observó correlación entre las variables biométricas de la especie estudiada y las variables ambientales. La ausencia de correlación puede deberse a que el estudio se ha desarrollado en una franja estrecha del amplio gradiente altitudinal y ambiental ocupado por la especie. En lo referente a la vegetación circundante, los sustratos del lecho o del margen de los barrancos, no se apreciaron diferencias relevantes que lleven a establecer una relación entre el entorno y un mayor peso o tamaño de los individuos. Por otra parte, destacó el tamaño alcanzado por un individuo en el barranco de Ordesa 2, que superaba los 130 milímetros de longitud total (LT). Difícilmente puede establecerse relación entre las características ambientales del barranco y el tamaño de un solo tritón, si bien podría deberse a la mayor edad de este individuo localizado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer el permiso de acceso concedido por el director del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, Manuel Montes Sánchez. A Elena Villagrasa Ferrer, jefa del Equipo de Conservación del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, por la labor de coordinación y supervisión de los trabajos de campo. A Ignacio Gómez Pellicer, Ramón Antor y Fernando Carmena Flores, por la revisión de este manuscrito y por su implicación y ayuda constante en el campo. A todo el equipo de empleados del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, por su amabilidad y ayuda en el trabajo de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AmphibiaWeb. Information on amphibian biology and conservation. Disponible en <http://amphibiaweb.org> [consulta: 29/9/2014].
- BARBADILLO, L. J., J. E. LACOMBA, V. PÉREZ-MELLADO, V. SANCHO y L. F. LÓPEZ-JURADO (1999). *Anfibios y reptiles de la Península Ibérica, Baleares y Canarias*. Geoplaneta. Barcelona.
- BLANCO VILLERO, J. M. (1995). *Los anfibios y reptiles de la provincia de Cádiz*. Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Sevilla.
- BLAUSTEIN, A. R., y D. B. WAKE (1990). Declining amphibian populations: A global phenomenon. *Trends in Ecology and Evolution*, 5: 203-204.
- BLAUSTEIN, A. R., J. M. KIESECKER, D. P. CHIVERS, D. G. HOKIT, A. MARCO, L. K. BELDEN y A. C. HATCH (1998). Effects of ultraviolet radiation on amphibians: Field experiments. *American Zoologist*, 38: 799-812.
- BLAUSTEIN, A. R., J. M. ROMANSIC, J. M. KIESECKER y A. C. HATCH (2003). Ultraviolet radiation, toxic chemicals and amphibian population declines. *Diversity and Distributions*, 9: 123-140.
- BOSCH, J. (2003). Nuevas amenazas para los anfibios: enfermedades emergentes. *Munibe*, 16: 56-73.
- BOSCH, J., M. TEJEDO, R. LECIS, C. MIAUD, M. LIZANA, P. EDGAR, Í. MARTÍNEZ-SOLANO, A. SALVADOR, M. GARCÍA-PARÍS, E. RECUERO-GIL, R. MÁRQUEZ y P. GENIEZ (2006). *Euproctus asper*. 2007 IUCN Red List of Threatened Species. Disponible en <http://www.iucn.org/es> [consulta: 2/8/2014].
- BOSCH, J., M. TEJEDO, R. LECIS, C. MIAUD, M. LIZANA, P. EDGAR, Í. MARTÍNEZ-SOLANO, A. SALVADOR, M. GARCÍA-PARÍS, E. RECUERO-GIL, R. MÁRQUEZ y P. GENIEZ (2008a). *Calotriton asper*. 2008 IUCN Red List of Threatened Species. Disponible en <http://www.iucn.org/es> [consulta: 2/8/2014].

- BOSCH, J., M. TEJEDO, R. LECIS, C. MIAUD, M. LIZANA, P. EDGAR, Í. MARTÍNEZ-SOLANO, A. SALVADOR, M. GARCÍA-PARÍS, E. RECUERO-GIL, R. MÁRQUEZ y P. GENIEZ (2008b). *Euproctus asper* (Dugès, 1852). *Pyrenean Brook Salamander*. Disponible en <http://www.iucn.org/es> [consulta: 2/8/2014].
- CHAMBERS, D. L. (2011). Increased conductivity affects corticosterone levels and prey consumption in larval amphibians. *Journal of Herpetology*, 45: 219-223.
- CLERGUE-GAZEAU, M. (1971). L'Euprocte pyrénéen: conséquence de la vie cavernicole sur son développement et sa reproduction. *Annales de Spéléologie*, 25: 825-960.
- CLERGUE-GAZEAU, M., y J. P. MARTÍNEZ-RICA (1978). Les différents biotopes de l'urodèle pyrénéen, *Euproctus asper*. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 114: 461-471.
- COLLINS, J. P., y A. STORFER (2003). Global amphibian declines: Sorting the hypotheses. *Diversity & Distributions*, 9: 89-98.
- COLOMER, M. À., A. MONTORI, E. GARCÍA y C. FONDEVILLA (2014). Using a bioinspired model to determine the extinction risk of *Calotriton asper* populations as a result of an increase in extreme rainfall in a scenario of climatic change. *Ecological Modelling*, 281: 1-14.
- DEHLING, J. M. (2015). A new species of *Rhacophorus* (Anura: Rhacophoridae) from Gunung Kinabalu, Borneo. *Salamandra*, 51: 1-11.
- DESPAX, R. (1923). Contribution à l'étude anatomique et biologique des Batraciens Urodèles du groupe des Euproctes et spécialement de l'Euprocte des Pyrénées Triton (*Euproctus asper*). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 51: 185-440.
- GAINES, W. L., R. J. HARROD y J. F. LEHMKUHL (1999). Monitoring biodiversity: Quantification and interpretation. *General Technical Report. PNW-GTR-443*. U. S. Department of Agriculture. Forest Service. Pacific Northwest Research Station Portland. Portland (OR). 27 pp.
- GARCÍA-GONZÁLEZ, R. (2005). Los mamíferos del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. *Naturaleza Aragonesa*, 14: 37-45.
- GARDNER, T. (2001). Declining amphibian populations: A global phenomenon in conservation biology. *Animal Biodiversity and Conservation*, 24: 25-44.
- GÓMEZ, I., F. CARMENA, R. ANTOR y E. VILLAGRASA (2012). Seguimiento de *Rana pyrenai-ca* como bioindicador de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. Sarga – Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. Gobierno de Aragón. Informe inédito.
- GÓMEZ, I., F. CARMENA, R. ANTOR y E. VILLAGRASA (2013). Seguimiento de *Rana pyrenai-ca* como bioindicador de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. Sarga – Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. Gobierno de Aragón. Informe inédito.
- GRASA, M., y K. WOUTERSEN (2002). *Atlas de las aves del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido*. Kees Woutersen. Huesca.

- HERVANT, F., J. MATHIEU y J. P. DURAND (2000). Metabolism and circadian rhythms of the European blind cave salamander *Proteus anguinus* and a facultative cave dweller, the Pyrenean newt (*Euproctus asper*). *Canadian Journal of Zoology*, 78: 1427-1432.
- KOLBY, J. E., S. D. RAMÍREZ, L. BERGER, K. L. RICHARDS-HRDLIČKA, M. JOCQUE y L. F. SKERRATT (2015). Terrestrial dispersal and potential environmental transmission of the Amphibian Chytrid Fungus (*Batrachochytrium dendrobatidis*). *PLoS One*, 10 (4): e0125386.
- LLORENTE, G. A., A. MONTORI, X. SANTOS y M. Á. CARRETERO (1995). *Atlas dels anfibis i rèptils de Catalunya i Andorra*. El Brau. Figueres. 191 pp.
- LOZANO, P. J., y J. A. CADIÑANOS (2007). Valoración biogeográfica de los anfibios en la comunidad autónoma de Euskadi. *Lurralde*, 30: 181-202.
- MAURIN, H. (coord.) (1995). *Inventaire de la faune menacé de France*. Nathan. París. 175 pp.
- MONTORI, A. (1988). *Estudio sobre la biología y ecología del tritón pirenaico Euproctus asper (Dugès, 1852) en La Cerdanya*. Tesis doctoral presentada en la Universitat de Barcelona. 486 pp.
- MONTORI, A., y P. HERRERO (2004). Caudata. En M. García-París, A. Montori y P. Herrero (eds.), *Amphibia: Lissamphibia*. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC (Fauna Ibérica, 24). Madrid.
- MONTORI, A., y G. A. LLORENTE (2014). Tritón pirenaico – *Calotriton asper*. En A. Salvador e Í. Martínez-Solano (eds.), *Enciclopedia virtual de los vertebrados españoles*. Museo Nacional de Ciencias Naturales. Madrid.
- MONTORI, A., G. A. LLORENTE y A. RICHTER-BOIX (2008). Habitat features affecting the small-scale distribution and longitudinal migration patterns of *Calotriton asper* in a Pre-Pyrenean population. *Amphibia-Reptilia*, 29: 371-381.
- PIOTROWSKI, J. S., L. SEANNA, S. L. ANNIS, E. JOYCE y J. E. LONGCORE (2004). Physiology of *Batrachochytrium dendrobatidis*, a chytrid pathogen of amphibians. *Mycologia*, 96: 9-15.
- PLEGUEZUELOS, J. M.^a, R. MÁRQUEZ y M. LIZANA (2002). *Atlas y libro rojo de los anfibios y reptiles de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza – Asociación Herpetológica Española. Madrid.
- POUNDS, J. A., M. FOGDEN y J. CAMPBELL (1999). Biological response to climate change on a tropical mountain. *Naturaleza*, 398: 611-615.
- RODRÍGUEZ, C. F., E. BECARES, M. FERNÁNDEZ-ALÁEZ y C. FERNÁNDEZ-ALÁEZ (2015). Loss of diversity and degradation of wetlands as a result of introducing exotic crayfish. *Biological Invasions*, 7: 75-85.
- SERRA-COBO, J., F. UBLEIN y J. P. MARTÍNEZ-RICLA (2000). Variation in sexual dimorphism between two populations of the Pyrenean salamander *Euproctus asper* from ecologically different mountain sites. *Belgian Journal of Zoology*, 130: 39-45.
- THIESMEIER, B., y C. HORNBERG (1990). Zur fortpflanzung sowie zum paarungsverhalten der Gebirgsmolche, Gattung *Euproctus* (Gené), in terrarium unter besonderer berücksichtigung von *Euproctus asper* (Dugès, 1852). *Salamandra*, 26: 63-82.

LA AVALANCHA DEL 25 DE ABRIL DE 2015 EN LANGTANG (NEPAL)

Fernando RIVERO¹
José Antonio CUCHÍ²

RESUMEN.— El presente artículo presenta algunas características de la avalancha que destruyó la pequeña localidad de Langtang (Nepal), consecuencia del terremoto del 25 de abril de 2015.

ABSTRACT.— The present paper shows some characteristics of the avalanche that destroyed the small village of Langtang (Nepal) as a result of the earthquake of the 25th April, 2015.

KEY WORDS.— Snowfall, earthquake, Langtang (Nepal).

INTRODUCCIÓN

El 25 de abril de 2015, un terrible terremoto denominado Gorkha (M 7,8 en la *escala sismológica de magnitud de momento*) afectó a Nepal: causó aproximadamente 9000 muertos e hirió a unas 23 000 personas. El epicentro se encontraba al este del distrito de Lamjung, y su hipocentro, a una profundidad de 8,2 kilómetros (fig. 1).

Además del hundimiento de numerosos edificios, el terremoto desencadenó numerosas caídas de rocas, deslizamientos de laderas y avalanchas

Recepción del original: 11-12-2015

¹ Servicio de Montaña de la Guardia Civil. Avenida de Francia, 57. E-22700 JACA.

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. cuchi@unizar.es

mixtas al desestabilizar laderas, escarpes rocosos y *séracs* glaciares. Como consecuencia hubo nuevas víctimas en diversos lugares. Por ejemplo, en el campo base del Everest murieron 19 montañeros por una avalancha que descendió desde el pico Pumori.

Otra enorme avalancha barrió la localidad de Langtang, donde se estima que murieron unas 250 personas. La falta de noticias sobre varios turistas españoles que visitaban la zona aconsejó el envío de un grupo compuesto por miembros del Servicio de Montaña de la Guardia Civil, la Unidad Militar de Emergencias (UME) y la Policía Científica del Cuerpo Nacional de Policía para participar en las labores de búsqueda y reconocimiento. Se realizaron dos vuelos en helicóptero los días 3 y 8 de mayo de 2015, así como reconocimientos terrestres los días 4, 5, 6 y 9 de mayo. Los detalles de la actuación pueden verse en RIVERO (2015).

Con base en la documentación recogida sobre el terreno, el presente artículo tiene como objeto analizar las características de la avalancha que destruyó la localidad de Langtang.



Fig. 1. Ubicación general del epicentro del terremoto y del valle de Langtang en el mapa de Nepal.

EL VALLE DE LANGTANG

Situado en el Langtang Himal, el valle se encuentra a unos 45 kilómetros en línea recta al norte de Katmandú. El acceso se realiza por una carretera de 137 kilómetros hasta Syaphrubesi o mediante acceso peatonal por el valle de Helambú por un recorrido de unos seis días de marcha a través del collado de Laurenbina, a 4610 metros de altura (figs. 2 y 3). Descubierta para el mundo occidental hacia 1950, hoy la zona alberga un parque natural y se había convertido en zona turística muy popular para la práctica del *trekking* (BHURTYAL y cols., 2015). Desde Syaphrubesi, se recorre el fondo

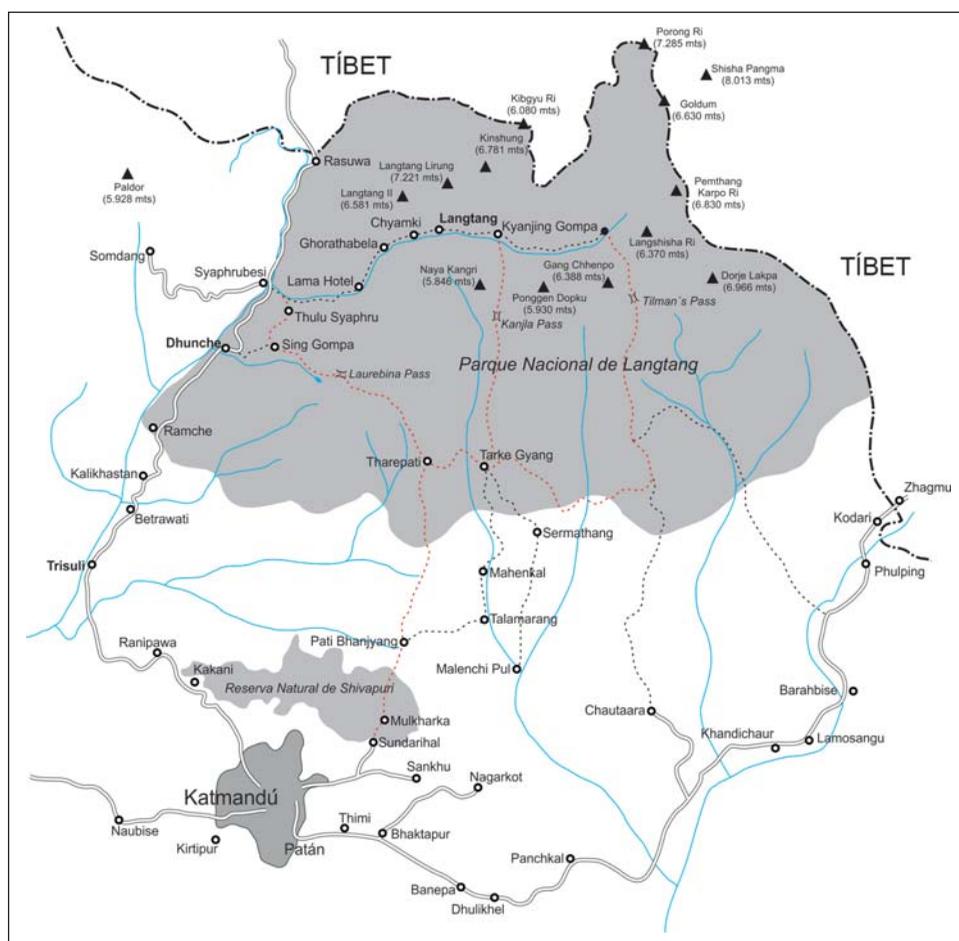


Fig. 2. Mapa regional de los accesos al Parque Nacional de Langtang.



Fig. 3. Detalle esquemático del valle de Langtang.

del valle del río Langtang Khola a través de varias pequeñas localidades: Bamboo, Rimche, Ghorathabela, Gumba, Chyamki, Langtang, Mundu, Singdum y Kyanying Gumpa (fig. 3). El clima es monzónico, con una precipitación próxima a los 600 milímetros, de los que aproximadamente el 80% caen entre mayo y septiembre (BARNARD y cols., 2006). Entre la vegetación destacan por su porte *Abies spectabilis* y *Picea smithiana*.

El caserío de Langtang (3430 metros) se encontraba dominado por el norte por las cumbres del Langtang Lirung (7221 metros) y Langtang II (6581 metros), y el Naya Kangri (5846 metros) por el sur. En el momento del terremoto, Langtang tenía 300 habitantes y 55 albergues para turistas, donde podían albergarse hasta 200 montañeros (fig. 4). A partir de Langtang, hacia el este, el valle se abre, en parte consecuencia del enorme paleodeslizamiento de Tsergo Ri (SCHRAMM y cols., 1998; WEIDIGER y cols., 2002; FORT, 2011). Valle arriba se encuentran los hielos de los glaciares Shalbachum, Langshisa y otros.

MARCO GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO

El valle es una zona accidentada con picos de más de 7000 metros y fuertes gradientes topográficos. Así, entre Kyanying Gumpa (3850 metros)



Fig. 4. Vista de la localidad de Langtang en noviembre de 2011.

y la cima del Langtang Lirung (7221 metros) solo hay una distancia de 7 kilómetros en planta. Como es evidente, el entorno presenta abundantes morfologías glaciares y periglaciares donde la forma mayor, el valle principal, tiene un típico aspecto de valle glaciar en U originado por el glaciar Langtang y varios afluentes: Langtang Lirung sur, Lirung, Yala, Schalbachum y Langshisa. Se han reconocido diversas series de morrenas que permiten definir varias fases de avances y retroceso. La más importante, denominada *Lama*, llegó hasta los 2600 metros por el valle principal (SHIRAIWA y WATANABE, 1991). En la actualidad, el fondo del valle, además de morrenas laterales, terrazas fluviales y depósitos lacustres, presenta abundantes conos de derrubios con claros indicios de *debris flow* modificados por avalanchas y caídas de rocas (WATANABE y cols., 1998; BARNARD y cols., 2006). La alta frecuencia de este tipo de riesgos geológicos ha propiciado las construcciones religiosas protectoras (WEIDINGER, 2001).

Una parte importante del valle y el entorno de la localidad homónima está formada por gneises silimaníticos del Precámbrico (INGER y HARRIS, 1992;

KOHN y cols., 2005). La estructura geológica está controlada por diversos cabalgamientos activos, dado que Nepal se encuentra en el contacto entre las placas eurásica e india. Esta última se subduce bajo la primera a una velocidad media de 40-50 milímetros por año. Consecuentemente, es un área de gran sismicidad y este riesgo geológico se agrava por la estrechez de los valles, la presencia de numerosos glaciares, el efecto de la deglaciación actual sobre el *permafrost*, así como la pobre calidad antisísmica de los edificios debido a la modesta economía local. En los últimos doscientos años se han documentado tres movimientos sísmicos de $M \geq 6$. El mayor ($M 8,1$), conocido como Nepal-Bihar 1934, ocurrió en 1934. Rompió una ancha sección de falla al este del terremoto de 2015 y causó 10 700 muertos. En agosto de 1988, otro terremoto de $M 6,8$ ocurrió a 160 kilómetros al sureste de Katmandú, cerca de la frontera entre Nepal e India, y causó 1000 muertos (DEY, 2015).

Como ya se ha señalado, el terremoto Gorkha se produjo a las 11:56 h, tiempo estándar de Nepal (NST), del 25 de abril de 2015 como consecuencia del movimiento del cabalgamiento mayor frontal (*Main Frontal Thrust*). El epicentro se situó en N 28.147°, E 84.708° cerca de la localidad de Barpak, aproximadamente a 77 kilómetros al noroeste de Katmandú. La información geológica recogida indica un deslizamiento en un plano de dirección 295°, buzando 11° al norte a una profundidad focal de 10 kilómetros (COLLINS y JIBSON, 2015). El terremoto fue seguido por numerosas réplicas (DEY, 2015; SHARMA y SHRESTHA, 2015). Las más importantes ocurrieron el 26 de abril a las 12:54 h, NST ($M 6,7$), y el 12 de mayo a las 12:51 h, NST ($M 7,3$). El epicentro de esta última se encontraba entre Katmandú y el Everest. Como consecuencia, 200 personas murieron y otras 2500 resultaron heridas.

Como era de esperar, el terremoto principal desencadenó un importante número de avalanchas de hielo y rocas. Una de ellas arrasó parte del campo base del Everest y mató a 19 personas. Más al oeste, varias barrieron el valle de Langtang y causaron numerosos muertos, entre ellos aproximadamente 250 en la localidad homónima. La cercana localidad de Chyamki también recibió una avalancha menor, mientras que los tejados de Kyanying Gumpa fueron levantados por la onda de presión de una tercera.

No hay mucha información sobre la avalancha que destruyó Langtang. FORT (2015), en una comunicación congresual, indica que una avalancha de nieve y rocas cayó desde el Langtang Lirung con arrastre de material

morrénico. Según DEY (2015), una avalancha de 3 kilómetros de anchura golpeó las localidades de Ghorathabela y Langtang, con 329 desaparecidos. Una imagen de la avalancha se presenta en SHARMA y SHRESTHA (2015), y otra en BHURTYAL y cols. (2015). Más detalles ofrecen COLLINS y JIBSON (2015), quienes realizan un inventario de deslizamientos de ladera mediante un reconocimiento con helicóptero del 27 de mayo al 1 de junio de 2015. Su trabajo dedica un capítulo específico a la avalancha de Langtang, visitada el día 28. Estiman que el depósito de esta, cifrado aproximadamente en 2 millones de metros cúbicos fundamentalmente de hielo con roca y suelo, es, con mucho, el mayor de los 55 detectados. Afortunadamente, no se había producido un embalsamiento secundario dado que el río había abierto un túnel de hielo de 650 metros. Este trabajo no muestra fotos de detalle sobre el terreno.

LA AVALANCHA DE LANGTANG

De acuerdo con la información recogida sobre el terreno, la avalancha que destruyó Langtang se originó desde la ladera sureste del pico Lantang Lirung y movilizó a una parte de los glaciares colgados. La figura 5 presenta una visión general desde el oeste de las avalanchas de Chyamki y



Fig. 5. Vista aérea de las avalanchas de Langtang y Chyamki desde el oeste, en la vertical de Ghorathabela (3/5/2015, a las 13:40 h, NST).



Fig. 6. Vista del pico Langtang Lirung en noviembre de 2011.

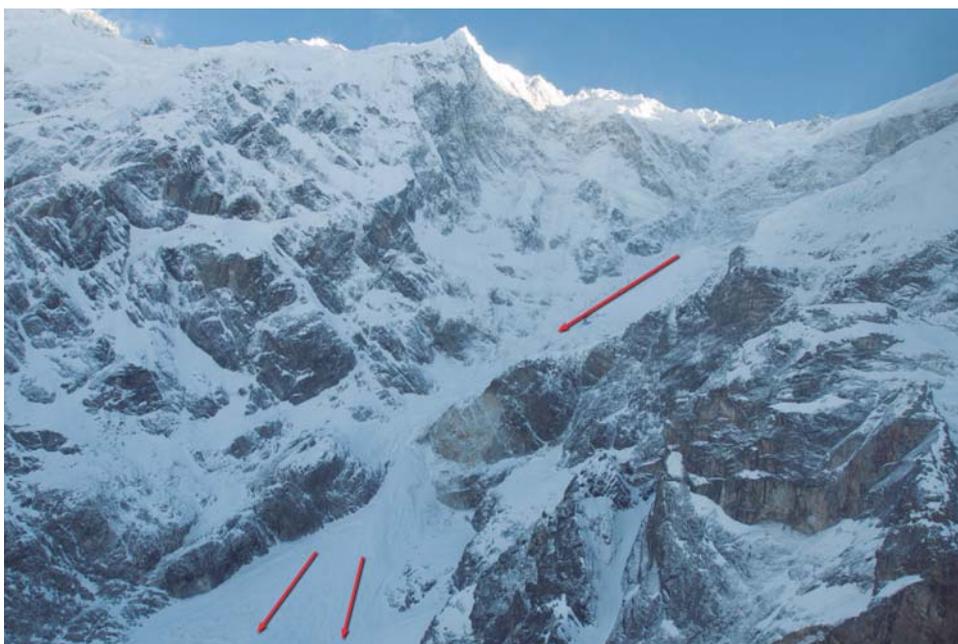


Fig. 7. Zona de salida de la avalancha de Langtang, aproximadamente a 6500 metros, y canal de deslizamiento (flechas). Foto tomada el 8/5/2015.
El pico central es el pequeño pico a la izquierda de la cresta de la figura anterior.

Langtang. En la zona superior se observa una parte del circo entre el Langtang Lirung y el Lantang II, con sus glaciares colgados. Como consecuencia del terremoto, una parte del glaciar colgado se desprendió, como muestran las diferencias entre la figura 6 (noviembre de 2011) y la figura 7, captada desde un helicóptero el día 8 de mayo de 2015. También es interesante compararlo con la figura 19 de COLLINS y JIBSON (2015). Aparentemente, cayeron los glaciares situados al suroeste, pero no se desprendió el orientado al sureste, en la falda del Langtang II. Este aspecto se muestra en un apartado específico más adelante.

La avalancha estaba compuesta inicialmente por hielo en su totalidad. Luego, tras deslizarse por una pendiente de unos 35° y arrastrar los restos de una morrena, saltó por un escarpe de unos 500 metros de vertical con una pendiente superior a los 50° . Se estima que alcanzó una velocidad de entre 99 m/sg (356 km/h) y 22-44 m/s (79-158 km/h), según COLLINS y JIBSON (2015).

La caída sobre el fondo del valle y parte del caserío de Langtang fue inevitablemente catastrófica y provocó, además, una onda expansiva que se

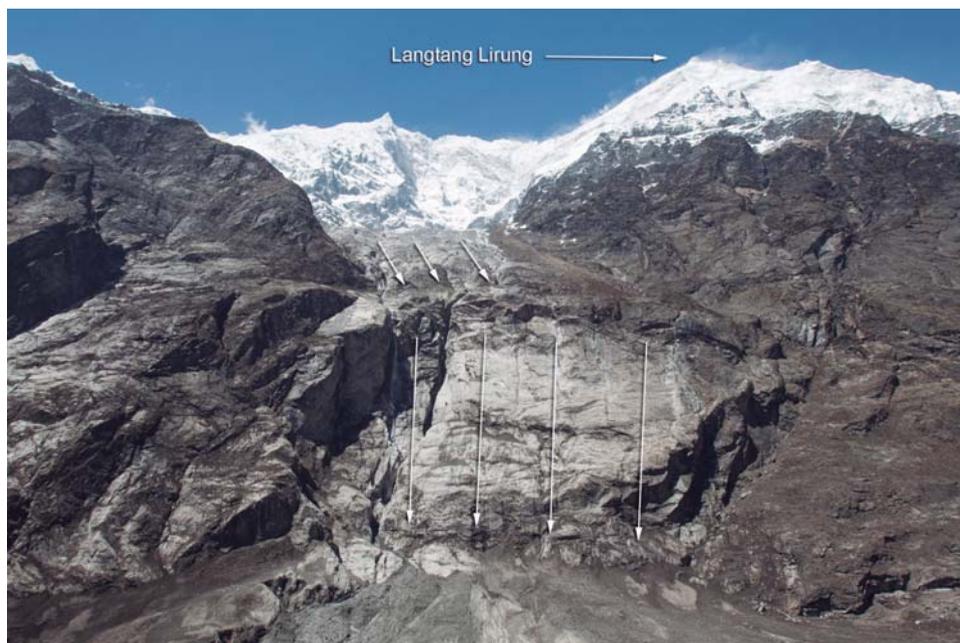


Fig. 8. Zona de salto de la avalancha de Langtang (3/5/2015). Se observa claramente la cicatriz del descenso de la avalancha.

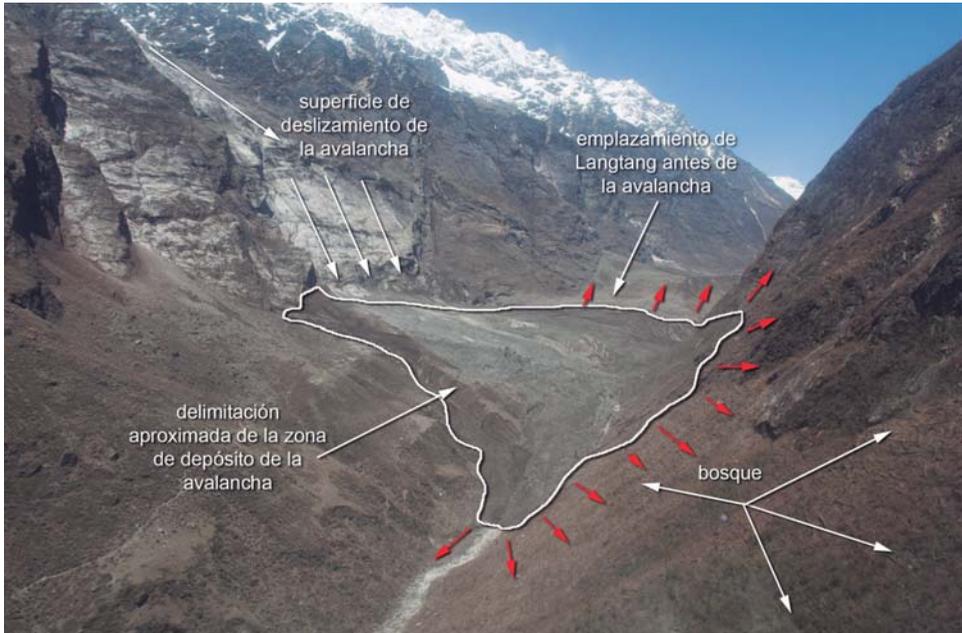


Fig. 9. Depósito de la avalancha de Langtang.



Fig. 10. Ápice del depósito de la avalancha, en el pie del cortado.

extendió por el valle. Ascendió por la ladera opuesta del valle, aproximadamente a 1 kilómetro de altura, derribando numerosos árboles en la dirección del movimiento, y se deslizó valle abajo, cubriendo el cauce del Langtang Khola (fig. 9), pero, afortunadamente, sin cortar el flujo de agua, como se detalla más adelante.

En la figura 10 y siguientes se observa una zonación transversal en el alud. El relieve previo pudo condicionar el giro de la avalancha hacia el oeste, valle abajo. Los grandes bloques, tal vez la cola de la avalancha, se depositaron de forma diferenciada posiblemente por la preexistencia de un barranco afluente de Langtang Khola que condiciona el espesor del depósito. Así, se estima un espesor mayor, hasta 20 metros, en la zona oriental, donde se encuentra el gran bloque de hielo (fig. 12), mientras que en la zona oriental, valle arriba, el espesor del depósito es mucho menor (figs. 13 y 14).

La onda expansiva generada como consecuencia del impacto de la masa derribó los restos de las casas de Langtang, ya afectadas por el terremoto,



Fig. 11. Edificio protegido bajo el cortado señalado con un círculo en la figura 10. Sobrevivió a la avalancha, pero posteriormente fue alcanzado en la esquina oeste por una gran piedra.



Fig. 12. Sector occidental de la avalancha. La torre de hielo tiene una altura de unos 20 metros. Las banderas azules señalan el emplazamiento de un campo militar antes de la avalancha.



Fig. 13. Límite este de la avalancha de Langtang. Se observa el efecto de la onda expansiva que afectó y derribó lateralmente las edificaciones ya destruidas por el terremoto.



Fig. 14. Otro detalle del límite este de la avalancha de Langtang.



Fig. 15. Restos de la localidad de Langtang. La madera indica la dirección de la onda.



Fig. 16. Efectos desiguales de la onda expansiva: a la izquierda, bombona de gas desplazada unos 500 metros por el aire; a la derecha, banco de carpintero protegido por los restos de un edificio, con alguna herramienta en la parte superior.

pero fuera de la caída masiva. A partir de observaciones propias y de las imágenes de satélite procesadas por el Zentrum für Satellitengestützte Kriseninformation (ZKI, 2015) se puede estimar que aproximadamente un 30% de los edificios quedaron bajo la avalancha.

El resto de la localidad fue barrida por la onda, como se observa en la figura 15, salvo algunos bajos que se encontraban en la desenfilada de la explosión. A efectos prácticos para la población y los visitantes, el resultado fue similar, dado que no hubo supervivientes en ninguna de las dos zonas.

El efecto de la onda fue muy intenso, pero variable en la dirección. Ascendió por la ladera opuesta del valle y se expandió a ambos lados del mismo. Por ejemplo, se encontraron bombonas de butano a bastante distancia de los edificios (fig. 16, izquierda), mientras que la mesa del carpintero local quedó resguardada por los restos de una pared (fig. 16, derecha). De forma sorprendente no afectó al edificio situado bajo la visera de roca de la figura 11. A lo largo del valle, el efecto explosivo sobre el bosque es más acusado hacia el oeste que hacia el este, lo que sugiere una componente lateral ya en la caída. Así, la figura 17 muestra el depósito de la avalancha, principalmente hielo proyectado recubierto de polvo, sobre la ladera sur del valle, y la dirección de caída del arbolado. La onda expansiva generó, además, una nube de polvo oscuro que se sedimentó posteriormente sobre el hielo.



Fig. 17. Límite de la avalancha, túnel de desagüe del río y árboles caídos que indican la dirección de la onda expansiva.



Fig. 18. Detalle de la ladera sur del valle, frente a Langtang. Depósito de la avalancha (aerosol) y árboles aplastados contra la ladera en la dirección de la onda expansiva.

A modo de resumen, las figuras 19 y 20 presentan vistas generales del valle. La 19 es una vista del camino entre Langtang y Gumpa. Se observa con claridad el ascenso de la avalancha por la ladera sur. La figura 20 es una vista general de Langtang desde el este. Se señala la extensión de la avalancha, la cicatriz del descenso del alud por la ladera del valle y los restos de los edificios del caserío.



Fig. 19. Panorámica de la zona de depósito de la avalancha desde un punto entre Langtang y Gumpa.



Fig. 20. Vista general de la avalancha desde el oeste, en la que se muestran la cicatriz del deslizamiento, la zona de depósito de la avalancha y los restos de algunos edificios de Langtang entre Langtang y Gumpa.

ESQUEMA DE LA AVALANCHA DE LANGTANG

A partir de la información recogida, se ha elaborado un esquema de la avalancha en el que se describen varias fases (fig. 21). El inicio de la avalancha se estima hacia los 6500 metros, al igual que lo señalado por COLLINS y JIBSON (2015). La primera fase, desencadenada por el terremoto, produjo

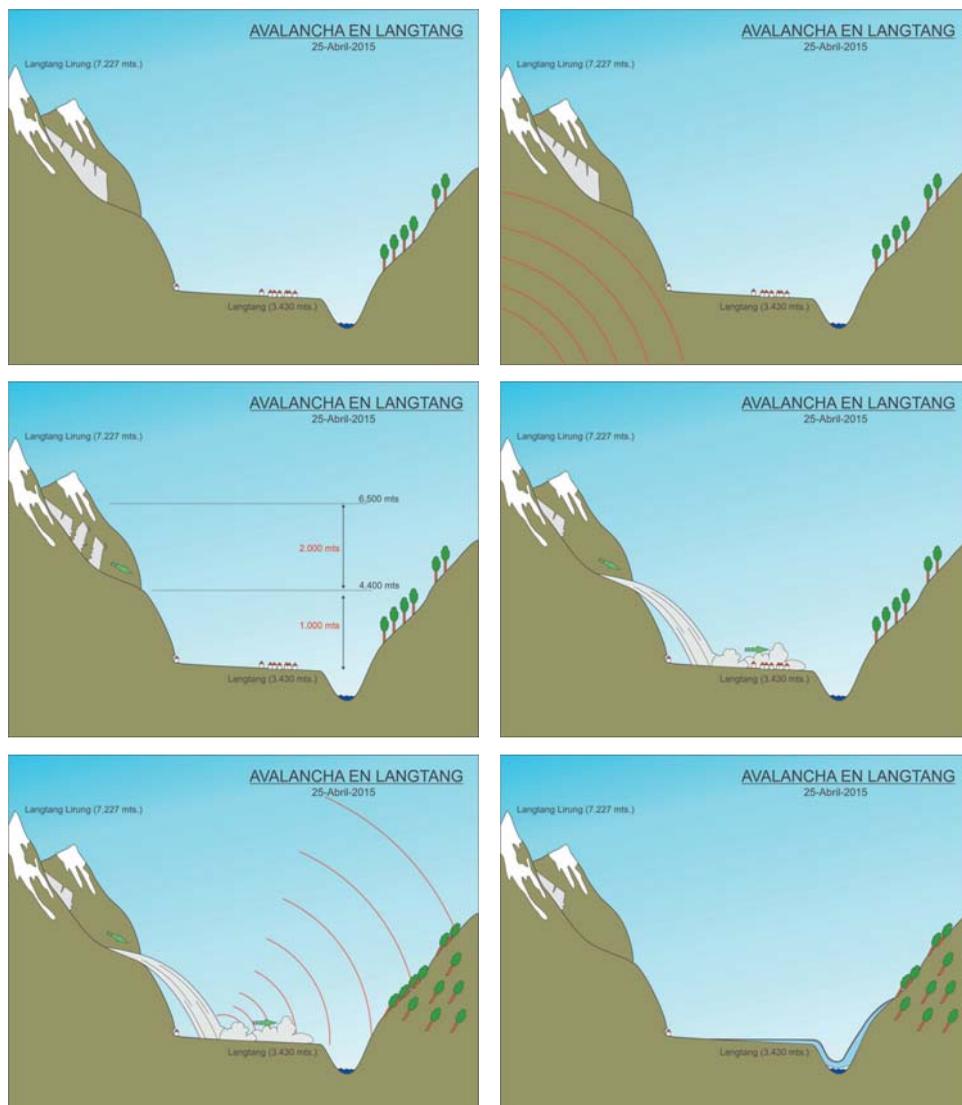


Fig. 21. Esquema de la avalancha de Langtang.

el deslizamiento de diversos grandes bloques de hielo hacia el salto de 1000 metros que dominaba la localidad, arrastrando parte de las morrenas de una fase de avance del glaciar colgado. En el descenso, al llegar al fondo del valle y tras una caída prácticamente vertical de cientos de metros, los bloques de nieve se pulverizaron produciendo una enorme onda expansiva que pudo llevar una subsecuente implosión. La masa de la avalancha remontó por la ladera opuesta destruyendo el bosque y giró río abajo hacia el oeste. El depósito cortó el cauce del río, pero parece que desde el primer momento no produjo un efecto de represa por estar formado en su mayor parte por hielo pulverizado que el río atravesó con cierta facilidad.

La fase final de la avalancha que destruyó Langtang pudo incluir la formación de algún tipo de aerosol. Pero este se produjo por pulverización del hielo tras el choque de los *séracs* glaciares contra el fondo del valle. Este tipo de avalancha es diferente a las clásicas de aerosol en los Alpes, los Pirineos o las Rocosas, que se generan por deslizamiento de nieve recién caída.

EVOLUCIÓN DEL DEPÓSITO DE LA AVALANCHA DE LANGTANG

Como se ha señalado, la mayor parte del depósito de la avalancha está formada por hielo del glaciar recubierto por una delgada cubierta de polvo oscuro. La mayor absorción térmica ayuda a calentar el hielo subyacente a una velocidad mayor de la que experimenta el hielo blanco de mayor albedo. Por ello, el depósito experimenta una transformación relativamente rápida. Por un lado, se observa un proceso de compactación diferencial que lleva a la aparición de grietas de reasentamiento que quizás indiquen flujo de agua subterránea (fig. 22). Simultáneamente, las relativamente altas temperaturas y bajas humedades diurnas llevan a un proceso de sublimación del hielo. Un ejemplo es la pequeña *mesa* de la figura 23, formada bajo el resto de una colchoneta. La altura del pináculo es de aproximadamente 20 centímetros, lo que supone una sublimación media de 2 cm/día. Esto indica que el material sólido se va acumulando en la superficie, favoreciendo inicialmente la sublimación y la fusión interna, pero luego se produce una cobertera de roca y suelo que protege el hielo subyacente. Así, es interesante la comparación con la figura 12 de COLLINS y JIBSON (2015), tomada un mes más tarde, donde se observa una clara tendencia al acorazamiento del depósito de la avalancha.



Fig. 22. Grietas de reasentamientos del depósito de la avalancha.



Fig. 23. Mesa de sublimación bajo el resto de una colchoneta.
Altura aproximada del pináculo, 20 centímetros (5/5/2015, a las 9:31 h, NST).



Fig. 24. Incisión reciente del río Langtang en el depósito de la avalancha.

Uno de los aspectos que despertó cierta inquietud era la posibilidad de que se formara un embalsamiento temporal del Langtang Khola y que pudiera romper de forma catastrófica, riesgo habitual en las zonas de montaña afectadas por seísmos. De hecho, este era el objetivo fundamental del trabajo de COLLINS y JIBSON (2015). Ya desde el primer momento se ha observado que el agua del río (fig. 24) pudo excavar un largo túnel bajo la avalancha, situación que se mantenía un mes más tarde. Incluso un afluente lateral, en la ladera sur del valle (fig. 18), se abrió paso bajo el depósito tras una primera fase de flujo superficial. Esto corrobora el elevado porcentaje de hielo en la masa de la avalancha.

ESTABILIDAD DEL GLACIAR DEL LANTANG II

Como tema secundario hay que reseñar, al contrario de lo sucedido en el glaciar suroeste del Langtang Lirung, que no se produjo una rotura del glaciar sureste del Langtang II como consecuencia del terremoto. De este glaciar también se dispone de imágenes de 2011 y 2015. La figura 25 presenta una imagen de diciembre de 2011, con una gran morrena, posiblemente reciente,

en su pie. Comparando esta imagen con la figura 26 (recuadro verde), tomada tras el terremoto, se puede observar que la lengua glaciar no ha sufrido importantes modificaciones. Es posible, sin embargo, que hubieran caído avalanchas menores retenidas tras la morrena.

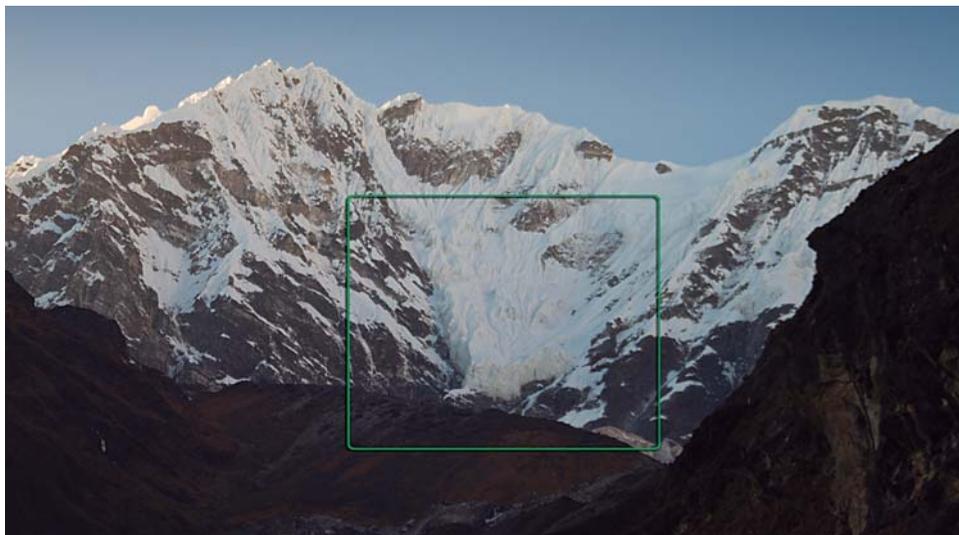


Fig. 25. Vista del glaciar colgado del Langtang II (noviembre de 2011).



Fig. 26. Langtang II y sus glaciares colgados (5/5/2015). En la base del cuadro verde se observa una gran morrena.

Evidentemente, es complicado comparar el comportamiento de ambos glaciares ante el terremoto. Además de la orientación, hay que reseñar que el glaciar del Langtang Lirung está colgado y tiene una morfología predominantemente cóncava, mientras que el del Langtang II es mucho más convexo. Esta morfología tiene clara influencia en los procesos de fisuración y de fractura del hielo, pues es más compacto el segundo.

OTROS EFECTOS DEL TERREMOTO

A modo comparativo parece oportuno presentar imágenes aéreas de las vecinas localidades de Sindum y Kyanying Gumpa, ambas situadas valle arriba y no afectadas por la avalancha de Langtang, de donde distan unos pocos kilómetros. Sindum, una pequeña aldea agropecuaria, está situada a menos de 2 kilómetros al este de Langtang. Se observan las casas caídas por efecto del terremoto, pero no por la onda expansiva (fig. 27). La imagen de Kyanying Gumpa, otro cercano e importante núcleo turístico al este de Sindum, muestra edificios que por su mayor calidad han resistido mejor el efecto del seísmo (figs. 28 y 29). Sin embargo, sus tejados han sido levantados por lo que se estima fue la onda expansiva de otra avalancha que hubiera descendido por el sureste del Langtang Lirung.

COMENTARIO

La avalancha de Langtang se originó por rotura de un glaciar colgado, con una fase inicial de deslizamiento de hielo. Se puede considerar que esta caída inicial sería de tipo *b* según la clasificación de PERLA (1980) reproducida en RICHARDSON y REYNOLDS (2000). La caída de *séracs* es un fenómeno habitual en el Himalaya y ha sido documentada por diversas expediciones, ocasionalmente con víctimas mortales entre los montañeros, *sherpas* y portadores. Hay algunos relatos de montañeros que han sobrevivido a aludes causados por terremotos que movilizaron glaciares colgados. Quizás el más conocido sea el sufrido por Reinhold Messner en su segunda ascensión al Nanga Parbat.

La segunda fase de la avalancha fue la caída directa sobre una parte de Langtang y la generación de la onda expansiva que destruyó el resto. No se

han encontrado precedentes de catástrofes debidas a caídas de hielo a plomo sobre localidades. Evidentemente, el fatal destino de esta población estuvo directamente condicionado por su emplazamiento. No es fácil saber cuándo hubo avalanchas precedentes, pero la morfología del cono aluvial sobre el que se levantaba el emplazamiento sugiere pasados deslizamientos en masa y avalanchas similares.

La avalancha de Langtang no es, con mucho, ni la mayor ni la más mortífera de tipología similar. Una avalancha parecida ocurrió en Perú, consecuencia de un terremoto producido a las 15:23 h, hora local, del 31 de mayo de 1970, con una magnitud (M_s) de 7,75. El epicentro estaba situado en el Pacífico, a unos 23 kilómetros al oeste de Chimbote. Se estima que murieron 70 000 personas, hubo 50 000 heridos y 800 000 personas quedaron sin hogar.

A más de 110 kilómetros de distancia, en el valle del río Santa, se desencadenó una tremenda avalancha por impacto de una enorme caída de rocas, entre 6400 y 5500 metros, sobre un glaciar del Nevado Huascarán.



Fig. 27. Restos de la aldea de Sindum, afectada por el terremoto, pero no por las avalanchas ni por la onda expansiva.



Fig. 28. Restos de albergues turísticos en Kyanying Gumpa (4/5/2015, a las 11:53 h, hora nepalí). Los tejados parecen volados por la onda de otra avalancha.



Fig. 29. Kyanying Gumpa desde el aire (3/5/2015, a las 13:44 h, hora nepalí).

Como consecuencia de la subsecuente avalancha de nieve y hielo, la totalidad de la localidad de Yungay y parte de su vecina Ranrahirca quedaron prácticamente destruidas con aproximadamente 18 000 muertos. Se estima que la avalancha movilizó entre 50 y 100 millones de metros cúbicos de rocas, hielo, nieve y suelo que recorrieron 14,5 kilómetros desde el glaciar hasta el cauce del Santa a una velocidad media de entre 280 y 335 km/h. En adición, bloques de varias toneladas salpicaron toda la zona a más de 1 kilómetro de los límites netos de la avalancha. La mortalidad en Yungay fue muy elevada debido a que una parte de la avalancha rebasó un cerro de unos 140 metros de desnivel sobre el cauce de avalanchas anteriores. Se suponía así que la localidad estaba en un emplazamiento seguro (CLUFF, 1971; PLAFKER y cols., 1971). En Alaska, una enorme avalancha de entre 40 y 60 millones de metros cúbicos de hielo y roca cayeron de la pared sur de Mt Steller sobre el glaciar Bering (HUGGEL y cols., 2008).

En Europa, hay algunos casos de avalanchas relacionadas con movimientos catastróficos de hielos glaciares. En el Cáucaso, el 20 de septiembre de 2002, una *surge* (avance rápido de una lengua glaciar) desplazó una masa aproximada de 100 millones de metros cúbicos de hielo, rocas, nieve y suelo del glaciar Kolka a lo largo de 18 kilómetros con una velocidad cercana a los 300 km/h. Posteriormente, se transformó en un *debris flow* de barro licuado que recorrió otros 15 kilómetros. Murieron más de 120 personas, incluido un equipo de cineastas. Las causas se achacaron a una compleja interacción entre estructuras geológicas inestables y una hidrología desfavorable, incluyendo aguas termales de origen volcánico en la zona de partida (HAEBERLI y cols., 2004). En los Alpes, las caídas de *séracs* son frecuentes. En el valle de Saas Fee (Valais, Suiza), el 30 de agosto de 1965, una masa de aproximadamente 2 millones de metros cúbicos de hielo se despegó del Allalinglestscher. Murieron 88 trabajadores que trabajaban en la construcción de la presa de Mattmark (FAILLETTAZ y cols., 2012). En la noche del 31 de mayo al 1 de junio de 1998, se desprendió la mayor parte del glaciar colgado Whymper, 150 000 metros cúbicos, en la cara sur de las grandes Jorasses (MARGRETH y cols., 2011). En el mismo macizo del Montblanc, pero en la vertiente francesa, una avalancha de aerosol remontante se produjo en las cercanías de Chamonix, el 9 de febrero de 1999, y destruyó parte de la localidad de Montroc, bajo 150 000 metros cúbicos, con una densidad de 250 kg/m³. Murieron 12 personas (ANCEY y cols., 2000). En este último caso se trataba de un alud de

nieve polvo tras un periodo de intensas nevadas. En el Pirineo, el único caso luctuoso conocido y relacionado con caída de *séracs* se produjo en julio de 1953, en el glaciar de la cara norte de Monte Perdido. Murieron dos militares de la Escuela Militar de Montaña de Jaca (MARTÍNEZ, 2013).

CONCLUSIONES

En alta montaña, es habitual el desprendimiento de *séracs* desde glaciares colgados y que derivan en avalanchas. En la mayor parte de los casos, estas caídas se deben a la rotura del hielo al quedar colgado sobre cortados por el movimiento descendente del mismo. Las caídas relacionadas con terremotos se citan con menos frecuencia.

Langtang desapareció como consecuencia de la caída de un importante alud de hielo debido a la rotura de un glaciar colgado en la zona sureste del Langtang Lirung. Esta avalancha del tipo *b* de PERLA (1980) fue desencadenada por el fuerte terremoto del 25 de mayo de 2015.

Evidentemente, la tragedia estuvo condicionada por la ubicación de la localidad. De hecho, a finales de 2015, las autoridades nepalíes habían cerrado el acceso a la zona alta del valle, incluido Kyanying Gumpa, que al parecer ha sido completamente evacuada. Es posible, sin embargo, que la zona se vuelva a repoblar.

AGRADECIMIENTOS

Evidentemente, es necesario acompañar en su tragedia a los nepalíes y agradecer las facilidades dadas por los habitantes del valle y las autoridades del país. Agradecemos la ayuda y la compañía del resto de agentes españoles de la Guardia Civil, la Policía Nacional y la UME desplazados sobre el terreno. Por último, agradecemos la cesión de varias fotografías a Jesús Cubero Álvarez.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANCEY, C., F. RAPIN, É. MARTIN, C. COLÉOU, M. NAAIM y G. BRUNOT (2000). L'avalanche de Péclerey du 9 février 1999. *La Houille Blanche*, 5: 45-53.
- BARNARD, P. L., L. O. OWEN, R. C. FINKEL y K. ASAHI (2006). Landscape response to deglaciation in a high relief, monsoon-influenced alpine environment, Langtang Himal, Nepal. *Quaternary Science Reviews*, 25: 2162-2176.

- BHURTYAL, A., D. ADHIKARI, H. NILSSON, M. TONDEL, L. LINDAHL, D. P. PAHARI y R. UPADHYAY (2015). Langtang: rebirth after the catastrophe. *World Nutrition*, 6 (6): 482-492.
- CLUFF, L. S. (1971). Peru earthquake of May 31, 1970; engineering geology observations. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 61 (3): 511-533.
- COLLINS, B. D., y R. W. JIBSON (2015). *Assessment of Existing and Potential Landslide Hazards Resulting from the April 25, 2015 Gorkha, Nepal Earthquake Sequence* (v. 1.1, August 2015). U. S. Geological Survey Open-File Report 2015-1142, 50 pp., <http://dx.doi.org/10.3133/ofr20151142> [consulta: 28-6-2016].
- DEY, S. (2015). A devastating disaster: A case study of Nepal earthquake and its impact on human beings. *IOSR Journal of Humanities and Social Science (IOSR-JHSS)*, 20 (7): 28-34.
- FAILLETAZ, J., M. FUNK y D. SORNETTE (2012). Prediction of alpine glacier sliding instabilities: a new hope. *Geophysical Research Abstracts*, 14, EGU2012-7243.
- FORT, M. (2011). Two large late Quaternary rock slope failures and their geomorphic significance, Annapurna Himalayas (Nepal). *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 34 (1): 5-14.
- FORT, M. (2015). Geomorphic impacts of the April 25, 2015 earthquake in Nepal: preliminary assessments. Proceedings 5th AIGEO National Conference *Geomorphology for Society: from risk knowledge to landscape heritage*. Cagliari.
- HAEBERLI, W., C. HUGGEL, A. KÄÄB, S. ZGRAGGEN-OSWALD, A. POLKVOJ, I. GALUSHKIN, I. ZOTIKOV y N. OSOKIN (2004). The Kolka-Karmadon rock/ice slide of 20 September 2002: An extraordinary event of historical dimensions in North Ossetia, Russian Caucasus. *Journal of Glaciology*, 50 (171): 533-546.
- HUGGEL, C., J. CAPLAN-AUERBACH, S. GRUBER, B. MOLNIA y R. WESSELS (2008). The 2005 Mt Steller, Alaska, rock-ice avalanche: A large slope failure in cold permafrost. En D. Kane y K. M. Hinkel (eds.), *Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost: 747-752*. International Permafrost Association. Postdam.
- INGER, S., y N. B. W. HARRIS (1992). Tectonothermal evolution of the high Himalayan cristaline sequence Langtang Valley, northern Nepal. *Journal of Metamorphic Geology*, 10 (3): 439-452.
- KOHN, M. J., M. S. WIELAND, C. D. PARKINSON y B. N. UPRETI (2005). Five generations of monazite in Langtang gneisses: Implications for chronology of the Himalayan metamorphic core. *Journal of Metamorphic Geology*, 23: 399-406.
- MARGRETH, S., J. FAILLETAZ, M. FUNK, M. VAGLIASINDI, F. DIOTRI y M. BROCCOLATO (2011). Safety concept for hazards caused by ice avalanches from the Whymper hanging glacier in the Mont Blanc Massif. *Cold Regions Science and Technology*, 69 (2): 194-201.
- MARTÍNEZ EMBID, A. (2013). El accidente de Monte Perdido de 1953. *Anuario de Montañeros de Aragón 2012-2013*: 56-60.
- PERLA, R. I. (1980). Avalanche release, motion and impact. En S. C. Colbeck (ed.), *Dynamics of Snow and Ice Masses*: 397-462. Academic Press. Nueva York.

- PLAFKER, G., G. E. ERICKSEN y J. F. CONCHA (1971). Geological aspects of the May 31, 1970, Peru earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 61 (3): 543-578.
- PLAFKER, G., y G. E. ERICKSEN (1978). Nevados Huascarán avalanches, Peru. En B. Voight (ed.), *Rockslides and avalanches, 1. Natural phenomena. Developments in Geotechnical Engineering 14 A*: 277-314. Elsevier. Ámsterdam.
- RICHARDSON, S. D., y J. M. REYNOLDS (2000). An overview of glacial hazards in the Himalayas. *Quaternary International*, 65: 31-47.
- RIVERO, F. (2015). Espíritu benemérito en Nepal. *Guardia Civil*, 855: 6-14.
- SCHRAMM, J. M., J. T. WEIDINGER y H. J. IBETSBERGER (1998). Petrologic and structural controls on geomorphology of prehistoric Tsergo Ri slope failure, Langtang Himal, Nepal. *Geomorphology*, 26: 107-121.
- SHARMA, E., y A. B. SHRESTHA (2015). Nepal 2015 Earthquake: Uncertainty Prevails in the Himalayan Arc. *Proceedings Indian National Science*, 81 (3): 557-560.
- SHIRAIWA, T., y T. WATANABE (1991). Late Quaternary glacial fluctuations in the Langtang Valley, Nepal Himalaya, reconstructed by relative dating methods. *Arctic and Alpine Research*, 23: 404-416.
- WATANABE T., L. DALI y T. SHIRAIWA (1998). Slope denudation and the supply of debris to cones in Langtang Himal, Central Nepal Himalaya. *Geomorphology*, 26: 185-197.
- WEIDINGER, J. T. (2001). Torrent and avalanche control by sacred Buddhist constructions in the Langtang Himalaya, Nepal. *Journal of Nepal Geological Society*, 24 (Sp. Issue): 49.
- WEIDINGER, J. T., J. M. SCHRAMM y F. NUSCHEJ (2002). Ore mineralization causing slope failure in a high-altitude mountain crest: on the collapse of an 8000 m peak in Nepal. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21: 295-306.
- ZKI (ZENTRUM FÜR SATELLITENGESTÜTZTE KRISENINFORMATION) (2015). <https://www.zki.dlr.de/map/2671> [consulta: agosto de 2015].

ACEITE DE OLIVA VIRGEN, EL ALIMENTO CON PROPIEDADES FARMACOLÓGICAS PREVENTIVAS DE LA ATROSCLEROSIS

Joaquín Carlos SURRA^{2,3}
María Ángeles NAVARRO^{1,3}
María Victoria MARTÍNEZ^{1,3}
Jesús OSADA^{1,2,3}

RESUMEN.— Las enfermedades cardiovasculares (entre las que se incluye la aterosclerosis) representan la principal causa de muerte en España y en los países desarrollados. Durante décadas se las ha asociado con dietas de tipo occidental (ricas en grasas y colesterol), por lo que se han recomendado dietas bajas en grasa en las que se han visto perjudicados alimentos como el aceite de oliva y los frutos secos, ingredientes constituyentes de la tradicional dieta mediterránea. Sin embargo, estudios concluyentes de investigación no solo rechazan esta teoría, sino que confirman categóricamente que la adhesión a este tipo de dieta, en la que el aceite de oliva virgen extra es la principal fuente de grasas, reduce los factores de riesgo y las muertes por este tipo de enfermedades. En nuestro laboratorio se han llevado a cabo una serie de experimentos empleando el ratón carente de apolipoproteína E, modelo animal que

Recepción del original: 20-1-2016

¹ Departamento de Bioquímica y Biología Molecular y Celular. Instituto de Investigación Sanitaria de Aragón (IIS). Facultad de Veterinaria. Universidad de Zaragoza. C/ Miguel Servet, 177. E-50013 ZARAGOZA. angelesn@unizar.es, mvmartig@unizar.es, josada@unizar.es

² Departamento de Producción Animal. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-20071 HUESCA. jsurra@unizar.es

³ CIBER de Fisiopatología de la Obesidad y la Nutrición. Instituto de Salud Carlos III. C/ Sinesio Delgado, 4. E-28029 MADRID.

semeja el desarrollo de aterosclerosis humana, sobre el que se ha investigado el efecto de distintos procesos a que han sido sometidos los aceites de oliva (refinados, lavados) y de diferentes tratamientos físicos (prensado o centrifugado) con los que se han obtenido aceites con distinto contenido en compuestos minoritarios. También se ha investigado el efecto de algunos de estos compuestos minoritarios aislados, como el hidroxityrosol o el escualeno, sobre el desarrollo de la lesión aterosclerótica. Las propiedades protectoras de la aterosclerosis del aceite de oliva virgen pueden atribuirse en parte a la presencia de esos componentes minoritarios y su efecto biológico se reduce o desaparece en los aceites procesados que hayan eliminado dichos componentes.

ABSTRACT.— Cardiovascular diseases (including atherosclerosis) are the main cause of death in Spain and developed countries. Their association, during decades, with Western diet (high fat and cholesterol) resulted in the recommendation of low-fat diets, which prejudiced basic ingredients of the traditional Mediterranean Diet such as olive oil and nuts. However, conclusive studies not only disprove this theory, but, on the contrary, clearly confirm that the adherence to this diet, in which the extra virgin olive oil is the main source of fat, reduces cardiovascular diseases risk factors and death. In our laboratory, we have carried out several experiments using apoE-deficient mouse, an animal model that reproduces the development of human atherosclerosis, and, as such, allowed to study the effects of the different washing and refining steps that olive oil goes through, and of the physical processes (pressure or centrifugation) that produce oils with different content in minors compounds. Also, some studies have been carried out on the isolated effect of some of these minor compounds, such as hydroxytyrosol or squalene, on the development of atherosclerotic lesions. The protective properties of virgin olive oil against atherosclerosis can be partly attributed to the presence of these minor components, whose biological effect fades or disappears in processed oils that have eliminated them.

KEY WORDS.— Extra virgin olive oil, atherosclerosis, apoE-deficient, mice, squalene, hydroxytyrosol.

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades cardiovasculares (las ECV: arterosclerosis, infarto de miocardio y/o accidente cerebro-vascular, etcétera) representan la principal causa de muerte en los países desarrollados. En España, en el año 2012, alcanzaron el 30,3% de todas las causas de defunciones (INE, 2014). Como origen de estas subyace la aterosclerosis, enfermedad sistémica que se caracteriza por la formación de placas en las paredes de las grandes arterias (CHOU DHURY y cols., 2004) por acumulación de lípidos y colesterol oxidados

y de las respuestas celulares de macrófagos, plaquetas, células endoteliales y musculares lisas, provocando el engrosamiento del espacio subendotelial, acompañadas o no de complicaciones trombóticas por la rotura de las placas, con las consiguientes manifestaciones clínicas de infarto de miocardio, accidentes cerebro-vasculares, etcétera (CHOUDHURY y cols., 2004). La enfermedad aterotrombótica es de carácter multifactorial, en la que se incluyen desde un componente genético, con un gran número de genes involucrados; la dieta, por un exceso de ingestión calórica de ciertos componentes, identificados como de alto riesgo, que favorecen el desarrollo de esta patología, y el estilo de vida, caracterizado por factores como el sedentarismo, la obesidad, el tabaquismo, etcétera (LUSIS y cols., 2004).

Las primeras evidencias epidemiológicas que mostraron el nexo de la aterosclerosis y la enfermedad coronaria con el tipo de dieta se pusieron de manifiesto en el *Seven Countries Study* (KEYS, 1970) o *Estudio de los siete países*, en el que intervinieron 13 000 varones con edades comprendidas entre los 40 y los 59 años, aparentemente con buen estado de salud, procedentes de dieciséis poblaciones de siete países diferentes (Italia, Holanda, Estados Unidos, Grecia, Japón, Yugoslavia y Finlandia), cuya dieta se caracterizaba por un alto aporte dietético de grasas. En dicho estudio se relacionó la ingesta de grasas, principalmente ácidos grasos saturados, con el aumento del colesterol en la sangre y las muertes por ECV. Revisiones posteriores de estos estudios confirmaron la estrecha relación existente entre las muertes por ECV con el consumo de ácidos grasos saturados de cadena larga y de ácidos grasos *trans* (KROMHOUT y cols., 1995). También algunos resultados del *Estudio de los siete países* revelaron importantes diferencias en las tasas de patologías cardiovasculares entre las distintas regiones geográficas estudiadas. Así, en los países del área mediterránea, la tasa de mortalidad debida a esta patología era inferior comparada con la de otras regiones, por lo que se dedujo que este hecho podía deberse a la menor ingesta de grasas saturadas y al elevado consumo de ácido oleico aportado por el aceite de oliva (KEYS, 1980), a partir del cual se extendió la noción de *dieta mediterránea* (DiMed). Esta, considerando como tal la alimentación tradicional de hace setenta años de los países del sur de Europa (TRICHOPOULOU y cols., 2003; DE LORGERIL, 2004), se caracteriza por un alto consumo de verduras, frutas, frutos secos y aceite de oliva como la principal fuente de grasa dietética. Actualmente, se reconoce que algunos de los alimentos que componen

la DiMed contienen numerosos nutrientes con efectos protectores frente a las agresiones de los mecanismos aterogénicos y, por tanto, pueden tener un papel destacado en la prevención de la aterosclerosis. Por otra parte, en la última década, investigaciones epidemiológicas confirman de manera concluyente su papel protector contra el desarrollo de varias enfermedades crónicas y han demostrado los beneficios del consumo regular de aceite de oliva en la prevención de varios factores de riesgo (diabetes, síndrome metabólico y obesidad) de ECV (ESTRUCH y cols., 2013), así como también en la prevención de ciertos tipos de cáncer (de mama y del tracto digestivo) (BUCKLAND y GONZÁLEZ, 2015).

El objetivo de este artículo es el conocimiento de algunos componentes minoritarios del aceite de oliva virgen extra con posible potencial farmacológico en la prevención de la aterosclerosis, centrada en los resultados obtenidos en nuestro grupo de investigación utilizando como modelo animal experimental el ratón carente de apolipoproteína E (ApoE-KO).

LA GRASA DE LA DIETA

Por grasas entendemos una serie de nutrientes de la dieta de alto contenido energético (su aporte calórico es más del doble que el de hidratos de carbono y de proteínas), y que, además de sus funciones energéticas, tienen otras numerosas funciones metabólicas moduladoras. Sus constituyentes más abundantes son los triglicéridos, cuya composición es muy heterogénea en función de los ácidos grasos que los componen. Dependiendo de la saturación o la presencia de dobles enlaces en sus ácidos grasos, se han clasificado como grasas saturadas (SAT), con predominancia de ácidos grasos saturados (AGS), sin dobles enlaces y sólidas a temperatura ambiente, y de aceites monoinsaturados (MUFA, de sus siglas en inglés: *mono-unsaturated fatty acids*), con la presencia de un solo doble enlace, o como poliinsaturados (PUFA, *poly-unsaturated fatty acids*), con dos o más dobles enlaces, siendo ambos líquidos a temperatura ambiente. En la figura 1 se muestra la composición media de los distintos ácidos grasos presentes en los triglicéridos de algunas grasas y aceites de consumo humano.

A su vez, en los AG insaturados se diferencian dos tipos dependiendo del carbono del primer doble enlace (considerando desde el del final de la

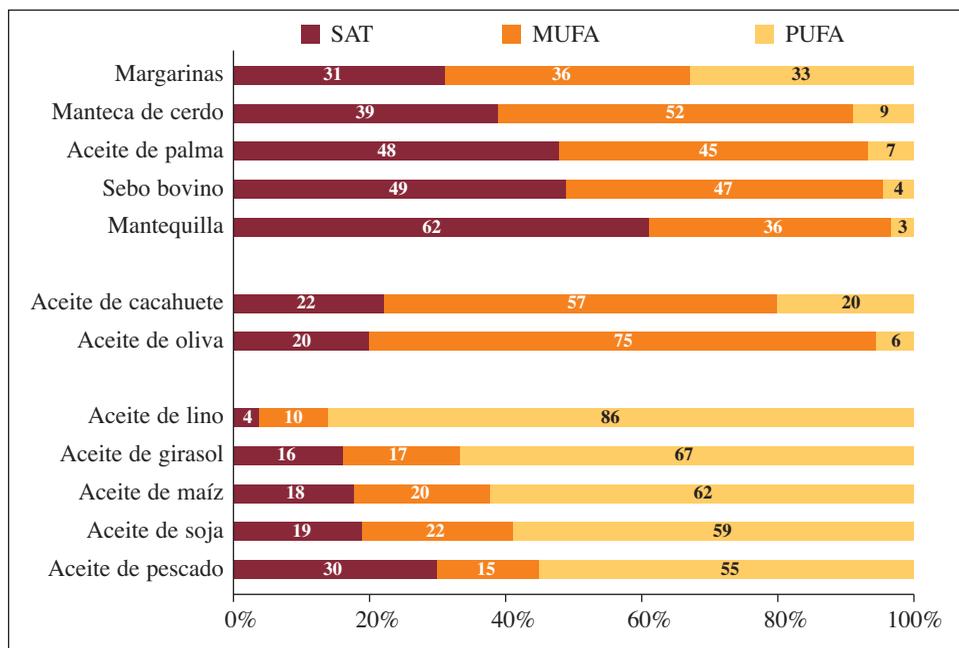


Fig. 1. Porcentajes de los distintos tipos de ácidos grasos constituyentes de diferentes grasas y aceites. Adaptado de SURRA y cols., 2005.

cadena): en el carbono 6, los denominados omega-6 o n-6, y en el carbono 3, los omega-3 o n-3. Por otra parte, la gran mayoría de las grasas naturales poseen una configuración de tipo *cis*, si bien se dan algunas naturales de formas *trans*, el 9-*cis*, y el 11-*trans*, isómero del ácido linoleico. Sin embargo, los ácidos de configuración *trans* de la dieta moderna son artificiales, ya que se generan en los procesos de hidrogenación industrial de ácidos grasos insaturados para darles una mayor consistencia. Sin embargo, desde los estudios de KEYS (1980) ya se puso de manifiesto que todas las grasas y/o aceites no se comportaban de igual manera debido a las diferencias en la proporción de los distintos ácidos grasos que las componían. Según el grado de saturación y longitud de la cadena, los AG dietéticos pueden poseer efectos hipercolesterolemiantes, como sucede con los AG saturados C12:0, C14:0 y C16:0 (láurico, mirístico, palmítico, respectivamente), el C18:0 (esteárico) es de efecto neutro, mientras que los monoinsaturados y poliinsaturados resultan hipocolesterolemiantes (GARDNER y KRAEMER, 1995; HU y cols., 2001; MORENO y MITJAVILA, 2003).

A partir de los estudios de KEYS (1970) se señaló el colesterol como la causa de las ECV y la grasa saturada, como la de la elevación de los niveles de colesterol en la sangre. De ahí que se declarase la guerra a las grasas, dando origen a las consignas nutricionales de hace varias décadas que se fundamentaron en reducir la ingesta de grasas por debajo del 30% de las calorías de la dieta y sustituirlas por hidratos de carbono (MOZAFFARIAN y LUDWIG, 2015). En esta guerra, se vio denostado el aceite de oliva e incluido en la lista de alimentos *poco saludables* al igual que los frutos secos, ambos componentes destacados de la DiMed, debido a su elevado contenido en grasas. Así, de la simpleza aparentemente lógica que relacionó el contenido de grasa en la dieta, dado su innegable mayor poder calorífico, con el aumento de la grasa corporal florecieron en la industria alimentaria los productos desnatados, *light* y otros elaborados con aceites vegetales hidrogenados, que, como se ha comentado, contienen una importante concentración de ácidos grasos *trans*. Sin embargo, no parece que esta estrategia de reducir la ingesta de grasas haya dado sus frutos, dadas las crecientes tasas de obesidad que asolan la sociedad moderna, de lo que resulta que el exceso de peso es uno de los factores de riesgo de las ECV más prevalentes (DE SCHUTTER y cols., 2014). Hoy se sabe que los efectos de las grasas en el organismo y su sustitución por carbohidratos son mucho más complejos de lo que se creía, como lo demuestra un estudio de intervención realizado en una población multiétnica, en el que una dieta baja en grasa no reduce el riesgo de Ecos (HOWARD y cols., 2006).

Por ello, en las últimas décadas ha aumentado el interés por el estudio de los efectos de la grasa de la dieta en la salud, y particularmente en la salud cardiovascular, puesto de manifiesto por el gran número de publicaciones dedicadas a esta cuestión y en las que se demuestra que la relación entre la ingesta de grasa y la salud no depende tanto de su cantidad, sino de su calidad, y vinculada al tipo de ácido graso predominante en la dieta (PÉREZ-JIMÉNEZ y cols., 2007), con lo que el tópico simplista de *grasa* se deduce cuando menos engañoso.

EL ACEITE DE OLIVA VIRGEN

El aceite de oliva virgen (del árabe *az-zeit*, que significa literalmente ‘jugo de aceituna’) es el zumo oleoso de las aceitunas, *Olea europaea*, separado de

los demás componentes de este fruto. Cuando se parte de frutos exclusivamente sanos y en su punto óptimo de maduración, el aceite de oliva virgen que se obtiene posee excepcionales características de aspecto, fragancia y sabor delicado, y se convierte en el único aceite vegetal que puede consumirse directamente crudo (ALBA y MARTÍNEZ, 2001). En el proceso de elaboración intervienen una serie de operaciones mecánicas y físicas que, partiendo íntegramente de aceitunas y llevándose a cabo específicamente en condiciones adecuadas para no alterar su calidad, producen la separación de la fracción oleosa del resto de los constituyentes.

Debido a la importancia que tiene el tratamiento del aceite de oliva en la composición final, se hará una breve descripción del mismo. Tras la molturación, que desgarras las membranas celulares y libera los glóbulos de aceite para que formen las gotas oleosas que se unen con el agua del fruto y crean una *pasta*, esta se bate lentamente para facilitar la unión de los glóbulos de aceite en gotas de mayor tamaño. El siguiente paso es la separación de las fases sólida y líquida. En la actualidad, la extracción se realiza por centrifugación (aunque tradicionalmente era por medio de presión de una prensa hidráulica), de la que se obtienen tres componentes: el orujo (restos de piel, hueso y pulpa), en la fase sólida, y el aceite y el alpechín (agua vegetativa), en la fase líquida. El aceite obtenido se decanta, se clasifica según su calidad y se almacena (ALBA y MARTÍNEZ, 2001; OSADA, 2010). Solo el aceite de oliva de determinada calidad puede ser consumido directamente; en cambio, otros aceites de oliva de calidad inferior, llamados *lampantes*, los aceites de orujo de oliva y todos los aceites de origen vegetal deben ser sometidos a un proceso de refinado o purificado por su elevada acidez (ácidos grasos libres) o sus bajas cualidades organolépticas. Este proceso puede hacerse por refinación química (clásico y tradicional) o física (más moderno, empleado por la gran industria); en ambos casos se eliminan los ácidos grasos libres y otros compuestos como pigmentos, ceras y aromas no deseados (desodorización) (ALBA y MARTÍNEZ, 2001). El proceso de refinado tiene un impacto nutricional trascendental, ya que provoca la exclusión de los compuestos minoritarios que poseen especial actividad biológica, como el escualeno, y que están presentes en el aceite de oliva virgen (AOV), ya que pudieran ser estos los responsables, al menos en parte, de los efectos beneficiosos para la salud del AOV y que no están presentes en los aceites vegetales refinados. Además, el refinado puede originar la formación de compuestos no

deseables (cíclicos, AG *trans*), así como la pérdida de aromas y colorantes (OSADA, 2010). Una completa lista de “Denominaciones y definiciones de los aceites de oliva” se puede encontrar en la web del Consejo Oleícola Internacional: <http://www.internationaloliveoil.org>. No obstante, en el mercado solo se pueden encontrar envasada cuatro categorías de aceites: aceite de oliva virgen extra, aceite de oliva virgen, aceite de oliva y aceite de orujo de oliva (ALBA y MARTÍNEZ, 2001).

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE DE OLIVA VIRGEN

Los constituyentes del aceite de oliva pueden clasificarse en dos grandes grupos: uno mayoritario, la fracción saponificable, y otro en menor proporción, los minoritarios o fracción insaponificable, que se resume en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química de la fracción saponificable (composición en ácidos grasos por cromatografía de gases aplicables a los aceites de oliva como características de pureza) y fracción no saponificable (componentes minoritarios) del aceite de oliva.

| <i>Fracción saponificable</i> | | <i>Fracción insaponificable</i> | |
|---|--------------------|---|------------------------------|
| <i>Nombre común (símbolo)⁽¹⁾</i> | <i>Porcentajes</i> | <i>Componentes minoritarios⁽²⁾</i> | <i>Concentración (mg/kg)</i> |
| Mirístico (14:0) | ≤ 0,03 | Hidrocarburos | 1500-8000 |
| Palmítico (16:0) | 7,5-20,0 | Escualeno | 1250-8000 |
| Palmitoleico (16:1n7) | 0,3-3,5 | Carotenos | 0,5-5 |
| Margárico (17:0) | ≤ 0,30 | Luteína | 3-5 |
| Heptadecenoico (17:1) | ≤ 0,30 | Tocoferoles | 50-300 |
| Estearico (18:0) | 0,5-5,0 | Clorofilas a y b | 0,2-5 |
| Oleico (18:1n9) | 55,0-83,0 | Feofitinas a y b | 0,2-20 |
| Linoleico (18:2n6) | 3,5-21,0 | Compuestos terpénicos | 1000-3000 |
| Linolénico (18:3n3) | ≤ 1,00 | Esteroles | 800-2600 |
| Araquídico (20:0) | ≤ 0,60 | Compuestos fenólicos | 20-1000 |
| Eicosenoico (20:1n9) | ≤ 0,40 | Alcoholes alifáticos | 100-200 |
| Behénico (22:0) | ≤ 0,20 | | |
| Lignocérico (24:0) | ≤ 0,20 | | |

⁽¹⁾ CONSEJO OLEÍCOLA INTERNACIONAL, 2013.

⁽²⁾ Adaptada de JIMÉNEZ y cols., 2001; MONTEODORO y cols., 2007; GUILLÉN y cols., 2009.

La fracción saponificable

La fracción saponificable (forman jabones cuando se trata con un hidróxido alcalino) representa $\approx 99\%$, en la que principalmente son triglicéridos, en menor medida ácidos grasos libres y pequeñísimas cantidades de otros componentes como mono y diglicéridos, fosfátidos, ceras y ésteres de esteroides (BOSKOU, 1998). En la composición en AG, el aceite de oliva es particularmente rico en ácido oleico (monoinsaturado) y contiene cantidades moderadas de ácido palmítico y linoleico, mientras que es bajo el contenido de esteárico y linolénico. Sin embargo, la composición en ácidos grasos y demás componentes difiere de una muestra a otra, dependiendo de la zona de producción del aceite de oliva, del clima, del grado de madurez de las aceitunas y de su variedad (BOSKOU, 1998).

La fracción insaponificable

La fracción insaponificable (tabla 1) está constituida por compuestos que se pueden obtener tras la saponificación del aceite. Esta fracción, también denominada *componentes minoritarios del aceite de oliva*, contiene una ingente variedad de elementos; no obstante, resulta sumamente difícil determinar todos estos compuestos minoritarios debido a su baja concentración y a su complejidad química. A estos compuestos minoritarios se les atribuye una diversidad de acciones biológicas, efectos beneficiosos sobre la salud por su posible actividad antioxidante, hipolipemian-te o antiaterogénica y también como responsables de la estabilidad del aceite y de sus características organolépticas (CARRASCO PANCORBO y cols., 2004).

Estos constituyentes minoritarios, no obstante, se pierden en gran medida durante los procesos de refinado, lo que le resta al aceite de oliva refinado sus propiedades biológicas y organolépticas si no se enriquece con aceite de oliva virgen (OSADA, 2010). Los elementos menores pueden diferenciarse entre, por un lado, los derivados de los ácidos grasos, como ceras, ésteres de esteroides, fosfátidos, monoglicéridos y diglicéridos, y los no relacionados químicamente con aquellos, como hidrocarburos, carotenoides, clorofilas, tocoferoles, compuestos terpénicos, alcoholes alifáticos, esteroides y compuestos fenólicos (BOSKOU, 1998).

El contenido en hidrocarburos oscila entre el 30 y el 50% de la fracción insaponificable, entre los que destacan el escualeno y en mucha menor cantidad los carotenos (luteína y β -carotenos).

Escualeno

El escualeno, un hidrocarburo alifático insaturado con seis dobles enlaces conjugados, es el más abundante (hasta el 90%): alcanza concentraciones desde los 1500-8000 (JIMÉNEZ y cols., 2001) hasta 12 000 mg/kg (BOSKOU y cols., 2006) en el AOV, mientras que en los aceites refinados su concentración se reduce drásticamente. Es un precursor de la biosíntesis del colesterol y otros esteroides en plantas y animales, fundamentalmente fitosteroides, y también es un componente mayoritario de los lípidos de humanos (JIMÉNEZ y cols., 2001).

Pigmentos: carotenos y clorofilas

Los carotenos son otra familia de compuestos presentes en la fracción de hidrocarburos del aceite de oliva virgen en una concentración de 0,5 a 15 mg/kg de aceite. Entre los mayoritarios encontramos la luteína (30-60%) y el β -caroteno (5-15%) (BOSKOU, 1998). A estos compuestos, además de ser pigmentos, se les atribuyen propiedades antioxidantes. Además, el β -caroteno en particular es un precursor de la vitamina A.

La fracción clorofílica, a la que se debe principalmente el color del aceite de oliva, la integran las clorofilas a y b (4-7%) y sus derivados libres de magnesio, las feofitinas a y b (mayoritarias, pues representan el 70-80% del total) (BOSKOU, 1998).

Tocoferoles

Los tocoferoles tienen propiedades antioxidantes y desempeñan un papel beneficioso en la salud por su actividad antioxidante. El contenido de tocoferoles en el aceite de oliva depende de varios factores, como la variedad de la aceituna o el grado de madurez, entre otros; alcanza valores que oscilan para el aceite de oliva virgen entre los 50 y los 350 mg/kg (BOSKOU, 1998), dependiendo de los países de origen, y se describen cantidades superiores a los 450 mg/kg (UCEDA, 2001). De los varios isómeros

de tocoferoles, el más abundante (< 90% del total) es el α -tocoferol, y el que presenta una mayor actividad biológica como vitamina E (JIMÉNEZ y cols., 2001). Al igual que sucede con otros compuestos de la fracción insaponificable, el contenido en tocoferoles se ve notablemente modificado en el proceso de refinado del aceite.

Compuestos terpénicos

Es otra de las fracciones abundantes del aceite de oliva. Pertenecen al grupo de los triterpenos pentacíclicos, dentro de los que destacan los dialcoholes, el uvaol y el eritrodiol, con concentraciones que varían de 10 a 200 mg/kg, así como sus correspondientes ácidos, el ácido oleanólico y maslínico. El uvaol y el eritrodiol están en mayor concentración en aceites de orujo, ya que son más abundantes en la piel de la aceituna: pueden alcanzar los 2800 mg/kg de aceite (BOSKOU, 1998). El aceite de orujo debe refinarse y mezclarse con AOV para que sea apto para el consumo humano, por lo que la cantidad de alcoholes triterpénicos es un parámetro de pureza para detectar la presencia de aceites de orujo. El interés científico por conocer el potencial farmacológico de estos compuestos se debe a su acción biológica en plantas medicinales (OSADA, 2010). Otros compuestos de este grupo son los alcoholes triperpénicos, entre los que destacan por su importancia la β -amirina, el butiroespermol, el cicloartenol y el 24-metilcicloarteno (BOSKOU, 1998).

Esteroles

Los fitoesteroles son los homólogos en las plantas al colesterol en los animales. Son compuestos tetracíclicos cuya biosíntesis comienza con el escualeno, contribuyen a disminuir la absorción de colesterol y poseen acción hipolipemiente. Los más abundantes son el β -sitosterol (el 75-90% del total de esteroles), el Δ^5 -avenasterol (el 5-36%) y el campesterol (\approx 3%) (BOSKOU, 1998).

Compuestos fenólicos

Estos compuestos, mayoritariamente hidrosolubles, presentes en la pulpa de la aceituna, son de naturaleza química heterogénea (se conocen más de 8000 polifenoles vegetales) y forman parte de la fracción polar que afecta

a la estabilidad frente a la oxidación, el sabor y el aroma del aceite de oliva, que no están presentes en ningún otro aceite vegetal. Se puede encontrar una gran variedad en la composición y la concentración de compuestos fenólicos entre aceites de oliva vírgenes, explicadas en parte por la variedad, grado de maduración de la aceituna, región geográfica, técnicas agrícolas, procesos de extracción y método analítico (CICERALE y cols., 2008), entre otros. El rango de concentraciones de polifenoles oscila de los 50-600 (JIMÉNEZ y cols., 2001) a los 800 mg/kg de aceite (CICERALE y cols., 2008), aunque hay aceites con cantidades de fenoles superiores a 1000 mg/kg (MONTEDORO y cols., 2007). Dada la gran variedad de estructuras químicas de los distintos compuestos fenólicos identificados, se han clasificado (JIMÉNEZ y cols., 2001; MONTEDORO y cols., 2007; CICERALE y cols., 2008) de muchas maneras, pero de forma reducida se podrían agrupar así:

- Alcoholes fenólicos: tirosol e hidroxitirosol (en altas concentraciones) (CICERALE y cols., 2008).
- Ácidos fenólicos: los que derivan del ácido benzoico, entre los que se encuentran los ácidos gálico, vanílico, protocatéquico y siríngico y aquellos derivados del ácido cinámico: los ácidos p-cumárico, cafeico, ferúlico y sináptico.
- Secoiridoides: se encuentran la oleuropeína (glicosilada o no), el oleocantal y el ligstrósido.
- Flavonoides: las hay flavonas como la luteolina y apigenina, flavonoles como la quercetina y el kaempferol, y un flavanonol, el (+)-taxifolin, ha sido encontrado recientemente en aceites de oliva españoles (CARRASCO PANCORBO y cols., 2004).
- Lignanós: se incluyen en esta categoría el (+)-pinoresinol y el (+)-1-acetoxypinoresinol.

Alcoholes alifáticos

Esta fracción está constituida por alcoholes saturados de cadena lineal con número par de átomos de carbono de 18 a 28. Los mayoritarios son el hexacosanol, el octacosanol y el tetracosanol. Estos alcoholes, al igual que los esteroides y los alcoholes triterpénicos, pueden unirse con ácidos grasos y constituyen los ésteres no glicéridos u otros compuestos como las ceras (BOSKOU, 1998; OSADA, 2010).

EL RATÓN CARENTE DE LA APOLIPOPROTEÍNA E COMO MODELO ANIMAL EXPERIMENTAL

El ratón es un animal muy utilizado en investigación por sus grandes ventajas, se reproduce con facilidad, tiene un tiempo de generación corto, ocupa poco espacio y tiene un bajo coste de mantenimiento, aunque es altamente resistente a enfermedades de humanos como es la aterosclerosis (PAIGEN y cols., 1995). Sin embargo, la generación de ratones carentes de determinados genes mediante manipulación genética ha proporcionado un poderoso instrumento para avanzar en el conocimiento de las bases moleculares de las enfermedades y por ello han sido reconocidos con la concesión a los creadores de estas herramientas (Capechi, Evans y Smithies) del Premio Nobel de Medicina en 2007. La carencia de la apolipoproteína E en los ratones impide que las partículas remanentes, transportadoras del colesterol, como los quilomicrones y las lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL; *very low density lipoprotein*) puedan eliminarse por el hígado, por lo que se acumulan en el plasma y, finalmente, se depositan en el espacio subendotelial de las paredes arteriales. Por ello, el ratón deficiente en apoE desarrolla una extensa aterosclerosis fibroproliferativa espontánea alimentado con la dieta normal del ratón (REDDICK y cols., 1994) y presenta la misma secuencia de formación de la lesión que la establecida en otros modelos animales y en humanos. Así, la semejanza y la facilidad de reproducción en este animal en un corto periodo de tiempo de la enfermedad desarrollada por humanos convierten al ratón ApoE-KO en un modelo relevante para el estudio de los factores predisponentes, como la dieta, lo que está aportando una importante información biológica acerca de la influencia de los diferentes componentes de esta en el desarrollo de la aterosclerosis y de los mecanismos implicados (OSADA y cols., 2000; SARRÍA y cols., 2006). Este tipo de animal es fundamental en la investigación llevada a cabo en nuestro laboratorio, centrada en los efectos beneficiosos del aceite de oliva virgen en la aterosclerosis.

Desde hace más de quince años, en nuestro laboratorio, se llevan a cabo numerosos experimentos en los que se emplea el ratón ApoE-KO, que desarrolla aterosclerosis espontáneamente, y que básicamente tienen un diseño experimental semejante, en el que grupos de ratones, uno de los cuales recibe una dieta *control*, generalmente una dieta de tipo occidental (20% de

grasa y 0,15% de colesterol), se comparan con otros grupos de animales que toman otras dietas, bien sea cambiando el tipo de grasa o bien incorporando o añadiéndose a esa dieta un compuesto minoritario del aceite de oliva que se va a investigar. Tras doce semanas de periodo experimental, los ratones se sacrifican en condiciones humanitarias respetando las normativas de bienestar animal, tras lo cual se procede a la toma de muestras de sangre para la obtención del plasma y a la extracción de una serie de órganos como el corazón (que se conserva congelado para la cuantificación de la lesión aterosclerótica), el hígado y otros tejidos. Con los corazones congelados se realizan una serie de cortes histológicos en las válvulas aórticas en un criostato mantenidos en congelación ($-27\text{ }^{\circ}\text{C}$). Posteriormente, estos cortes son teñidos con Sudan IV para colorear de rojo los depósitos lipídicos de lesión aterosclerótica y, a continuación, se realiza una contrateñición con una solución de hematoxilina y eosina (CALLEJA y cols., 1999), como se muestra en la figura 2a. De estos cortes histológicos se toman imágenes digitalizadas con una cámara acoplada a un microscopio óptico. Para el tratamiento de las imágenes, se emplea el *software* Scion Image que permite, mediante un lápiz digital, circunscribir el área de lesión aterosclerótica y, posteriormente, su cuantificación, como se observa en la figura 2b.

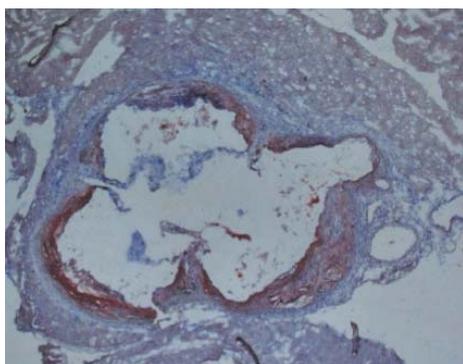


Fig. 2a. Corte histológico de una aorta de ratón ApoE-KO en las válvulas aórticas, teñidas con la técnica de Sudan IV para colorear de rojo los depósitos lipídicos de lesión aterosclerótica y contrateñidas con una solución de hematoxilina y eosina (CALLEJA y cols., 1999).

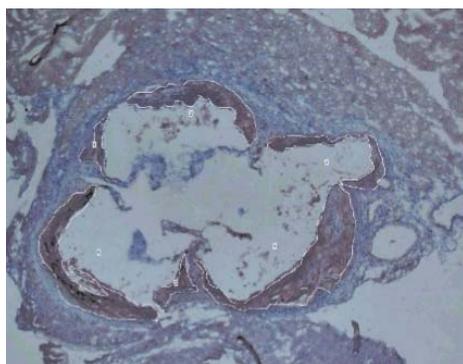


Fig. 2b. El mismo corte, en el que se ha seleccionado la lesión contorneando (líneas blancas) las áreas de lesión aterosclerótica con el *software* Scion Image, que permite cuantificar el área seleccionada.

CONOCIMIENTO DE LOS COMPUESTOS ACTIVOS FRENTE A LA ATROSCLEROSIS

En uno de los experimentos preliminares, se trató de demostrar la implicación de los componentes minoritarios del AOV. Se testaron dos aceites de oliva virgen, uno de los cuales se sometió a un proceso de lavado que eliminara los compuestos minoritarios solubles, y se elaboraron dietas adicionando ambos aceites al 10% que fueron administradas a ratones ApoE-KO. Como se observa en la figura 3, la eliminación de la fracción hidrosoluble por efecto del lavado provocó la pérdida de las propiedades antiateroscleróticas (OSADA, 2010) del AO lavado en comparación con la dieta control, mientras que con la dieta con AO virgen, a pesar de contener un 10% de aceite añadido, el área de la lesión aterosclerótica fue la misma que en la dieta control.

En un experimento posterior, se evaluó la importancia de los compuestos minoritarios, pero en dos aceites de oliva obtenidos por procedimientos diferentes, uno tradicional por prensado y otro más moderno por centrifugado, y refinados ambos posteriormente con el fin de eliminar los componentes hidrosolubles. De estos tratamientos resultó un aceite obtenido por centrifugado enriquecido en compuestos de la fracción insaponificable, tales como tocoferoles, fitoesteroles y triterpenos. Ambos tipos de aceites

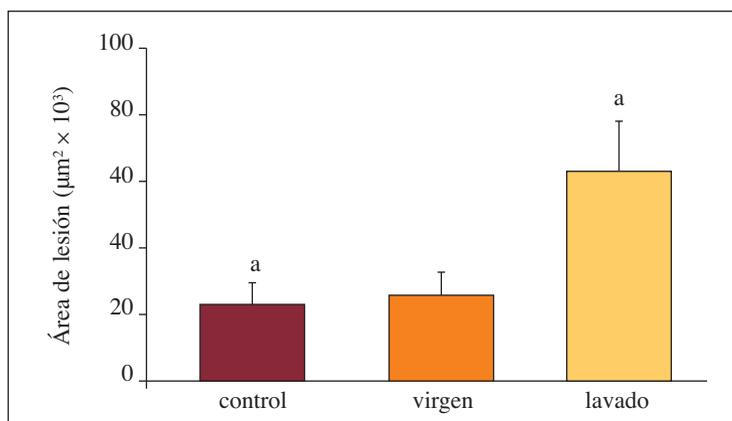


Fig. 3. Efecto de una dieta enriquecida con un 10% de aceite de oliva virgen extra (virgen) o aceite de oliva virgen lavado (lavado) en la superficie del área de lesión respecto a ratones alimentados con una dieta control (OSADA, 2010) (resultados no publicados). Diferencias estadísticas, a : $P < 0,05$ mediante análisis estadístico de Mann-Whitney.

se administraron al 10% en la dieta a los ratones ApoE-KO y se compararon con una dieta control sin aceite. Como muestra la figura 4, la dieta suplementada con aceite prensado y refinado incrementó significativamente la lesión aterosclerótica respecto al grupo control, mientras que en los que consumieron la dieta enriquecida con el aceite centrifugado y refinado (enriquecido en compuestos minoritarios insolubles en agua) esta indujo una disminución de la lesión, incluso frente a los del control, a pesar de ser una dieta suplementada con un 10% más de grasa, en este caso el aceite de oliva centrifugado (ACÍN y cols., 2007).

Como se ha podido comprobar por los experimentos anteriores, los componentes de la fracción hidrosoluble del aceite de oliva son importantes, pues retrasan el desarrollo de la aterosclerosis en los ratones ApoE-KO.

No existen dudas de que un factor determinante en el desarrollo de la aterosclerosis es la oxidación de lípidos de las lipoproteínas de baja densidad, las LDL (*Low Density Lipoprotein*, o comúnmente llamado colesterol malo) (LUC y FRUCHART, 1991). Asimismo, se ha relacionado que el consumo de AOV ejerce un papel protector de la oxidación de las LDL y va asociado a su contenido en compuestos fenólicos. Por lo ya mencionado en la composición del aceite de oliva: la presencia en altas concentraciones de

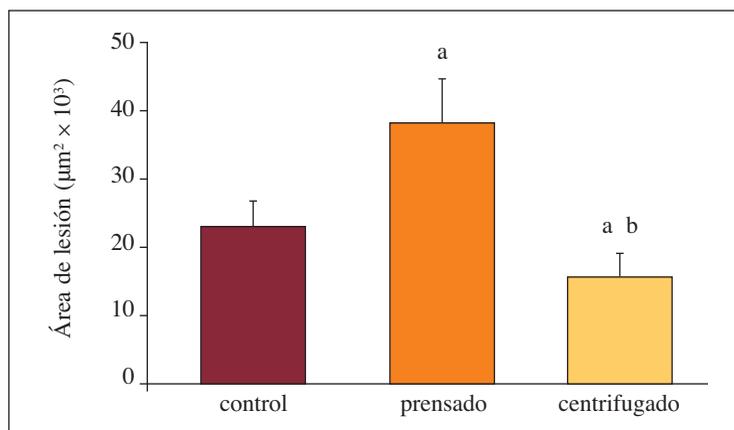


Fig. 4. Valores medios de las áreas de lesión en ratones ApoE-KO alimentados con dieta control o enriquecida con un 10% de aceites de oliva prensado o centrifugado, ambos refinados. Diferencias estadísticas, *a*: $P < 0,05$ respecto a control y *b*: $P < 0,05$ vs. prensado, mediante prueba estadística de Mann-Whitney (ACÍN y cols., 2007).

un alcohol fenólico como el hidroxitirosol, que posee una potente capacidad antioxidante tanto *in vitro* como *in vivo* (VISIOLI y cols., 2000). Se ha investigado el efecto del hidroxitirosol en el desarrollo de aterosclerosis en ratones ApoE-KO, administrándolo en el pienso a una dosis farmacológica de 10 mg/kg ratón/día. Los resultados indicaron que el hidroxitirosol, a esta dosis y en dietas bajas en colesterol, inducía un mayor desarrollo de la aterosclerosis (ACÍN y cols., 2006), como se muestra en la figura 5. Estos resultados sugieren que compuestos, en este caso el hidroxitirosol, al menos en ratones ApoE-KO, administrados aisladamente fuera de la matriz del alimento original, pueden tener efectos perjudiciales en la aterosclerosis, contrariamente a las nuevas propuestas de las teorías simplistas o minimalistas de que un compuesto administrado aisladamente pueda no tener el efecto deseado que se le presupone si no se mantiene el entorno natural en el que se encuentran estas moléculas (ACÍN y cols., 2006).

Otro compuesto presente en importantes cantidades en el aceite de oliva virgen es el hidrocarburo escualeno, por lo que ha sido también investigado en nuestro laboratorio. El escualeno administrado en la dieta de ratones ApoE-KO a dosis de 1 mg/kg ratón/día redujo el desarrollo de aterosclerosis, pero solo en los machos (fig. 6), no tuvo efecto en las hembras, lo que sugiere una acción dependiente del sexo, al menos en este modelo experimental.

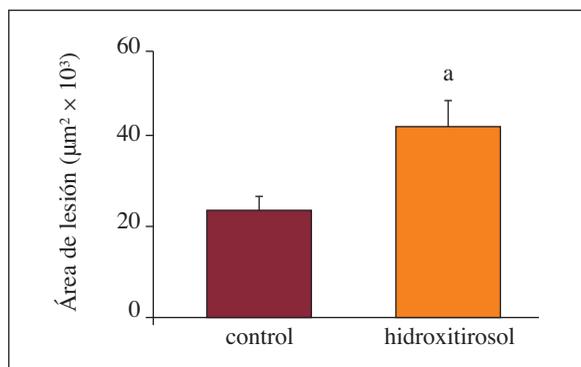


Fig. 5. Efecto de la administración de hidroxitirosol en la dieta sobre el área de lesión aterosclerótica en ratón ApoE-KO. Diferencias estadísticas, *a*: $P < 0,05$ respecto a control (ACÍN y cols., 2006).

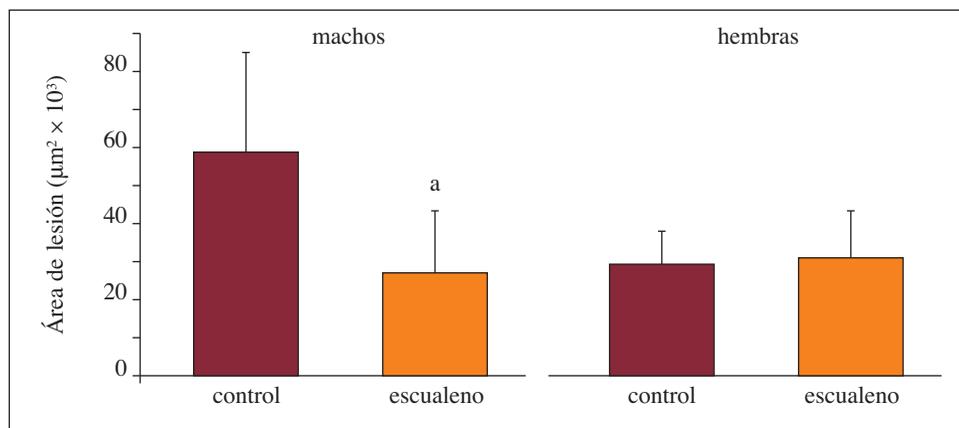


Fig. 6. Efecto de la suplementación con escualeno en la dieta de ratones ApoE-KO sobre las áreas de lesión ateroscleróticas. Diferencias estadísticas, *a*: $P < 0,05$ respecto a control (GUILLÉN y cols., 2008).

CONCLUSIONES

El ratón carente de apolipoproteína E resulta un modelo animal adecuado para abordar el estudio de la influencia del aceite de oliva y/o sus componentes en el desarrollo de la aterosclerosis, lo que ha permitido desentrañar las discrepancias en los incipientes estudios con aceite de oliva al constatare las diferencias en las respuestas a los aceites con contenidos distintos en sus componentes minoritarios y avanzar en el conocimiento del efecto beneficioso de este alimento. También ha contribuido a aclarar que no todas las grasas, un nutriente de alto contenido energético, pueden tener el mismo efecto colesterolémico o aterogénico.

La acción beneficiosa y las propiedades antiateroscleróticas del aceite de oliva virgen pueden atribuirse en parte a la presencia de esos componentes minoritarios en estos aceites. Su potencial efecto biológico se reduce o desaparece en aquellos aceites de oliva que han sido sometidos a ciertos procesos de lavado y/o refinado en los que se han eliminado dichos componentes.

Para la administración de un compuesto aislado con potenciales propiedades farmacológicas no se debe caer en la simplificación de que este vaya a ejercer su efecto como tal en un comprimido. Cada vez hay más consenso en que la matriz en que se encuentra dicho compuesto es importante y que

el alimento en su conjunto es importante para ejercer su efecto, por lo que puede ser más saludable su consumo íntegro que incorporado en alimentos distintos de su *continente* o en suplementos.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo de investigación de los autores está financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad – Fondo Europeo de Desarrollo Regional (2013-41651R), el Fondo Social Europeo – Gobierno de Aragón (B-69) y el CIBER de Fisiopatología de la Obesidad y la Nutrición (CIBEROBN), como iniciativa del Instituto de Salud Carlos III y del Instituto de Estudios Altoaragoneses (IEA), en su convocatoria de ayudas a la investigación de 2014.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACÍN, S., M.^a Á. NAVARRO, J. M. ARBONÉS-MAINAR, N. GUILLÉN, A. J. SARRÍA y cols. (2006). Hydroxytyrosol administration enhances atherosclerotic lesion development in apo E deficient mice. *Journal of Biochemistry*, 140: 383-391.
- ACÍN, S., M.^a Á. NAVARRO, J. S. PERONA, J. M. ARBONÉS-MAINAR, J. C. SURRA y cols. (2007). Olive oil preparation determines the atherosclerotic protection in apolipoprotein E knockout mice. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 18: 418-424.
- ALBA, J., y L. MARTÍNEZ (2001). Elaboración de aceites de oliva. En J. Mataix Verdú (ed.), *Aceite de oliva virgen: nuestro patrimonio alimentario*: 46-31. Fundación Puleva. Universidad de Granada. Granada.
- BOSKOU, D. (1998). Composición del aceite de oliva. En D. Boskou (ed.), *Química y tecnología del aceite de oliva*: 67-103. AMV Ediciones. Mundi Prensa Libros. Madrid.
- BOSKOU, D., G. BLEKAS y M. TSIMIDOU (2006). Olive oil composition. En D. Boskou (ed.), *Olive Oil, Chemistry and Technology*, 2.^a ed.: 41 -72. AOCS Press. Champaign (Ill).
- BUCKLAND, G., y C. A. GONZÁLEZ (2015). The role of olive oil in disease prevention: a focus on the recent epidemiological evidence from cohort studies and dietary intervention trials. *British Journal of Nutrition*, 113, Suppl. 2: S94-101.
- CALLEJA, L., M. A. PARÍS, A. PAÚL, E. VILELLA, J. JOVEN y cols. (1999). Low-cholesterol and high-fat diets reduce atherosclerotic lesion development in ApoE-knockout mice. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 19: 2368-2375.
- CARRASCO PANCORBO, A., C. CRUCES-BLANCO, A. SEGURA CARRETERO y A. FERNÁNDEZ GUTIÉRREZ (2004). Sensitive determination of phenolic acids in extra-virgin olive oil by capillary zone electrophoresis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52: 6687-6693.

- CHOUHDURY, R. P., V. FUSTER y Z. A. FAYAD (2004). Molecular, cellular and functional imaging of atherothrombosis. *Nature Reviews. Drug Discovery*, 3: 913-925.
- CICERALE, S., X. A. CONLAN, A. J. SINCLAIR y R. S. J. KEAST (2008). Chemistry and health of olive oil phenolics. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49: 218-236.
- CONSEJO OLEÍCOLA INTERNACIONAL (2013). Norma comercial aplicable a los aceites de oliva y los aceites de orujo de oliva. <http://www.internationaloliveoil.org/documents/view-file/3617-normaesp> [consulta: 12/1/2016].
- DE LORGERIL, M. (2004). "The Mediterranean-style diet". Is it ideal for the modern world? *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 13: S18.
- DE SCHUTTER, A., C. J. LAVIE y R. V. MILANI (2014). The impact of obesity on risk factors and prevalence and prognosis of coronary heart disease-the obesity paradox. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 56: 401-408.
- ESTRUCH, R., E. ROS, J. SALAS-SALVADO, M. I. COVAS, D. CORELLA y cols. (2013). Primary prevention of cardiovascular disease with a Mediterranean diet. *New England Journal of Medicine*, 368: 1279-1290.
- GARDNER, C. D., y H. C. KRAEMER (1995). Monounsaturated versus polyunsaturated dietary fat and serum lipids: A meta-analysis. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 15: 1917-1927.
- GUILLÉN, N., S. ACÍN, M.^a Á. NAVARRO, J. S. PERONA, J. M. ARBONÉS-MAINAR y cols. (2008). Squalene in a sex-dependent manner modulates atherosclerotic lesion which correlates with hepatic fat content in apoE-knockout male mice. *Atherosclerosis*, 197: 72-83.
- GUILLÉN, N., S. ACÍN, M.^a Á. NAVARRO, J. C. SURRA, C. ARNAL y cols. (2009). Knowledge of the biological actions of extra virgin olive oil gained from mice lacking apolipoprotein E. *Revista Española de Cardiología*, 62: 294-304.
- HOWARD, B. V., L. VAN HORN, J. HSIA, J. E. MANSON, M. L. STEFANICK y cols. (2006). Low-fat dietary pattern and risk of cardiovascular disease: the Women's Health Initiative Randomized Controlled Dietary Modification Trial. *JAMA*, 295: 655-666.
- HU, F. B., J. E. MANSON y W. C. WILLETT (2001). Types of dietary fat and risk of coronary heart disease: a critical review. *Journal of the American College of Nutrition*, 20: 5-19.
- INE (2014). *Defunciones según la causa de muerte en 2012*. Instituto Nacional de Estadística. Madrid.
- JIMÉNEZ, J., D. RONDÓN, L. MARTÍNEZ y J. MATAIX (2001). Composición química de los aceites de oliva. En J. Mataix Verdú (ed.), *Aceite de oliva virgen: nuestro patrimonio alimentario*: 115-136. Fundación Puleva. Universidad de Granada. Granada.
- KEYS, A. (1970). Coronary heart disease in Seven Countries. *Circulation*, 41 (Suppl. 1): 1-211.
- KEYS, A. (1980). *Seven Countries: A multivariate analysis of death and coronary heart disease*. Harvard UP. Cambridge (MA).
- KROMHOUT, D., A. MENOTTI, B. BLOEMBERG, C. ARAVANIS, H. BLACKBURN y cols. (1995). Dietary saturated and trans fatty acids and cholesterol and 25-year mortality from coronary heart disease: the Seven Countries Study. *Preventive Medicine*, 24: 308-315.

- LUC, G., y J. C. FRUCHART (1991). Oxidation of lipoproteins and atherosclerosis. *American Journal of Clinical Nutrition*, 53: 206S-209S.
- LUSIS, A., A. FOGELMAN, y G. FONAROW (2004). Genetic basis of atherosclerosis, part II: clinical implications. *Circulation*, 110: 066-071.
- MONTEDORO, G., A. TATICCHI, S. ESPOSTO, R. SELVAGGINI, S. URBANI y cols. (2007). Antioxidants in virgin olive oil. *Olea*, 26: 5-13.
- MORENO, J. J., y M.^a T. MITJAVILA (2003). The degree of unsaturation of dietary fatty acids and the development of atherosclerosis (review). *Journal of Nutritional Biochemistry*, 14: 182-195.
- MOZAFFARIAN, D., y D. S. LUDWIG (2015). The 2015 US dietary guidelines: Lifting the ban on total dietary fat. *JAMA*, 313: 2421-2422.
- OSADA, J. (2010). *Aceite de oliva virgen extra y prevención de la aterosclerosis*. Academia de Farmacia Reino de Aragón. Zaragoza.
- OSADA, J., J. JOVEN y N. MAEDA (2000). The value of apolipoprotein E knockout mice for studying the effects of dietary fat and cholesterol on atherogenesis. *Current Opinion in Lipidology*, 11: 25-29.
- PAIGEN, B., A. MORROW, C. BRANDON, D. MITCHELL y P. HOLMES (1985). Variation in susceptibility to atherosclerosis among inbred strains of mice. *Atherosclerosis*, 57: 65-73.
- PÉREZ-JIMÉNEZ, F., J. RUANO, P. PÉREZ-MARTÍNEZ, F. LÓPEZ-SEGURA y J. LÓPEZ-MIRANDA (2007). The influence of olive oil on human health: not a question of fat alone. *Molecular Nutrition and Food Research*, 51: 1199-1208.
- REDDICK, R., S. ZHANG y N. MAEDA (1994). Atherosclerosis in mice lacking apo E: Evaluation of lesional development and progression. *Arteriosclerosis and Thrombosis*, 14: 141-147.
- SARRÍA, A. J., J. C. SURRA, S. ACÍN, R. CARNICER, M.^a Á. NAVARRO y cols. (2006). Understanding the role of dietary components on atherosclerosis using genetic engineered mouse models. *Frontiers in Bioscience*, 11: 955-967.
- SURRA, J. C., C. ARNAL, M.^a V. MARTÍNEZ-GRACIA y J. OSADA (2005). Efecto de la composición de la grasa de la dieta en la aterogénesis. *Rev. Esp. Obes.*, 3: 183-194.
- TRICHOPOULOU, A., T. COSTACOU, C. BAMIA y D. TRICHOPOULOS (2003). Adherence to a Mediterranean diet and survival in a Greek population. *New England Journal of Medicine*, 348: 2599-2608.
- UCEDA, M. (2001). Tipos y calidad de aceites de oliva. En J. Mataix Verdú (ed.), *Aceite de oliva virgen: nuestro patrimonio alimentario*: 101-113. Fundación Puleva. Universidad de Granada. Granada.
- VISIOLI, F., L. BORSANI y C. GALLI, C. (2000). Diet and prevention of coronary heart disease: the potential role of phytochemicals. *Cardiovascular Research*, 47: 419-425.

**BUCARDOS Y OSOS FÓSILES DEL PIRINEO:
RECUPERACIÓN DE RESTOS PALEONTOLÓGICOS, CATALOGACIÓN
Y DATACIÓN DE LOS YACIMIENTOS DEL PLEISTOCENO-
HOLOCENO DE LAS CAVIDADES DEL PIRINEO OSCENSE**

Víctor SAUQUÉ¹
Raquel RABAL-GARCÉS¹
Ricardo GARCÍA-GONZÁLEZ²
Mario GISBERT³

RESUMEN.— Durante el desarrollo del proyecto de investigación “Recuperación de restos paleontológicos, catalogación y datación de los yacimientos del Pleistoceno-Holoceno de las cavidades del Pirineo oscense”, se han prospectado diversas cavidades del Pirineo oscense en busca de nuevos yacimientos paleontológicos. Estas cavidades se hallaban situadas en la sierra de Secús, Barranco Jardín, los Lecherines, la sierra de Tendeñera y el Serrato Gallisué. En dichas zonas se ha encontrado o se ha confirmado la presencia de ocho nuevos yacimientos paleontológicos. Además, se ha continuado la excavación de yacimientos en los que se había trabajado previamente, como la cueva de la Brecha del Rincón y la de los Osos de Lecherines. Mediante el

Recepción del original: 25-1-2016

¹ Grupo Aragosaurus-IUCA. Departamento de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, 12. E-50009 ZARAGOZA. vsauque@gmail.com, raquelrabal@hotmail.com

² Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC). Avenida Nuestra Señora de la Victoria, s/n. E-22700 JACA. rgarciag@ipe.csic.es

³ Centro de Espeleología de Aragón (CEA). C/ Escultor Moreto, 15. E-50008 ZARAGOZA. asismario@hotmail.com.

estudio de los restos faunísticos recuperados en estos yacimientos, se ha constatado la presencia de numerosos restos de *Capra pyrenaica pyrenaica* (bucardo), *Ursus arctos* (oso pardo) y *Ursus deningeri*. En la cueva de los Bucardos se han recuperado dos esqueletos de bucardo prácticamente completos. A partir de dataciones realizadas con carbono-14 se comprobó que tenían una antigüedad comprendida entre los 5500 y los 3500 años antes del presente. Estos esqueletos son los restos de bucardo fósiles más completos del registro mundial. Por otro lado, en esa misma cavidad se recuperaron restos de otros dos bucardos fósiles mucho más antiguos, del periodo isotópico MIS3, de entre 50 000 y 40 000 años. Esta datación nos indica que la presencia de bucardos en el Pirineo oscense es más antigua que la anteriormente propuesta por diversos autores. Por otra parte, se ha ampliado el registro de osos del Pirineo con la recuperación de restos de *Ursus deningeri* (Pleistoceno medio) en la recientemente descubierta cueva de la Brecha del Rincón y restos óseos de *Ursus arctos* en otras cavidades. Además, se registraron señales de la vida de estos osos, como camas de hibernación en la cueva de los Osos de Lecherines y marcas de zarpazos en la de Forato de la Sierra.

ABSTRACT.— During the development of the research project “Recovery of paleontological, remains, cataloging and dating of the Pleistocene-Holocene deposits of Huesca Pyrenees caves” various cavities of Huesca Pyrenees have been prospected in search of new paleontological sites. Eight cavities located in the Sierra de Secús, Barranco Jardín, Los Lecherines, Sierra de Tendeñera and Serrato Gallisué were found or confirmed as new paleontological sites. We have also continued the excavation of sites previously worked such as Brecha del Rincón cave and Osos de Lecherines cave. By studying the faunal remains recovered from these deposits we confirmed the presence of numerous remains of *Capra pyrenaica pyrenaica* (Pyrenean wild goat locally named *bucardo*), *Ursus arctos* (brown bear) and *Ursus deningeri*. In the Bucardos Cave two nearly complete bucardo skeletons *Capra pyrenaica pyrenaica* have been recovered. These remains gave a radiocarbon age of 5500-3500 years before present, respectively. These skeletons are the most complete remains of this mountain goat subspecies in the global record. In the same cavity, fossil remains from two much older (isotopic period MIS3) bucardo specimens gave a radiocarbon age of 50 000 – 40 000 years BP. This dating indicates that the presence of bucardos in the Huesca Pyrenees is older than previously stated by several authors. Besides, the record of ursids from the Pyrenees has been remarkably broadened by the recovery of *Ursus deningeri* fossil remains (Middle Pleistocene) from the recently discovered Brecha del Rincón cave, and *Ursus arctos* fossil remains from several cavities. In addition, traces of the ursids occupation were observed, such as hibernation beds in the Osos de Lecherines cave and scratches in Forato de la Sierra cave.

KEY WORDS.— *Capra pyrenaica pyrenaica*, *Ursus arctos*, *Ursus deningeri*, Pleistocene, Holocene, Pyrenees, Huesca (Spain).

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, son pocos los yacimientos paleontológicos que se han estudiado en el Pirineo español: Tella (RABAL-GARCÉS y cols., 2012; RABAL-GARCÉS, 2013), la Brecha del Rincón (RABAL-GARCÉS y SAUQUÉ, 2014; RABAL-GARCÉS y SAUQUÉ, 2015) y Millaris (GARCÍA-GONZÁLEZ, 2012), si se compara con la ingente cantidad de yacimientos presentes en la vertiente francesa (CLOT y EVIN, 1986). Esta disimetría se debe a la falta de exploración de las cavidades españolas desde un punto de vista paleontológico. En los últimos años, el Centro de Espeleología de Aragón (CEA) ha puesto en conocimiento de los investigadores de la Universidad de Zaragoza (Área de Paleontología) la presencia de restos fósiles y subfósiles en la superficie de diversas cavidades. Esta colaboración entre espeleólogos y paleontólogos viene dando sus frutos en la zona del Moncayo, donde se han descubierto interesantes yacimientos como el de los Rincones (SAUQUÉ y CUENCA-BESCÓS, 2013; SAUQUÉ y cols., 2014a; SAUQUÉ y cols., 2014b; SAUQUÉ, 2015). Debido a esta colaboración, ha surgido un gran interés en los espeleólogos por los yacimientos paleontológicos y en los últimos años se han descubierto yacimientos en sus zonas de exploración pirenaicas.

Las cavidades, en ocasiones, actúan como trampas naturales en las que, con el paso del tiempo, se van acumulando los animales que viven en sus inmediaciones (CLOT y EVIN, 1986). En otras ocasiones, las cuevas actúan como colectores de animales con hábitos cavernícolas, como los osos, los cuales las ocupan durante la hibernación (NAVES y PALOMERO, 1993). Durante esta, algunos osos pierden demasiadas reservas o se produce un derrumbe y perecen en la zona donde hibernaron. Por otro lado, los osos pueden dejar sus improntas en las cavidades, bien en forma de *arañazos* en las paredes o creando sus camas u oseras (CLEVENGER y cols., 1994).

En el año 2000 se extinguió el último ejemplar de bucardo o cabra montés pirenaica en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. La cabra montés ibérica (*Capra pyrenaica*) es un caprino endémico de la península ibérica del que se reconocen cuatro subespecies; fue la subespecie pirenaica (*Capra pyrenaica pyrenaica*) la que desapareció en el año 2000 sin que apenas pudieran estudiarse científicamente sus características biológicas

(GARCÍA-GONZÁLEZ y HERRERO, 1999). Por otra parte, la filogenia y diversificación de las subespecies ibéricas distan mucho de estar clarificadas. Todavía no se conoce bien la caracterización sistemática de las cabras montes ibéricas (ACEVEDO y CASSINELLO, 2009). El estudio de los antepasados fósiles de los bucardos pirenaicos puede aportar mucha información sobre su filogenia y relaciones de parentesco con el resto de cabras salvajes ibéricas y alpinas.

OBJETIVOS

Los objetivos de toda prospección paleontológica abarcan desde la realización del trabajo de campo, limpieza y restauración de fósiles, hasta el trabajo de gabinete (tafonomía, mediciones, datación, clasificación taxonómica, etcétera). Partiendo de estas premisas, los objetivos del presente proyecto de prospección paleontológica en el Pirineo oscense han sido los siguientes:

- Inventario de las cavidades con restos fósiles del Pirineo oscense.
- Recuperación de los restos que se encuentran en la superficie de cuevas y simas que han hallado los espeleólogos del CEA.
- Prospección paleontológica de las cavidades de la sierra de Secús (valle de Hecho), del sistema kárstico de Lecherines (Boráu) y de la sierra de Tendeñera (Biescas) y el valle de Añisclo (Gallisué).
- Datación de los restos fósiles de bucardo y úrsidos.
- Descripción y estudio tafonómico, taxonómico y biométrico de los restos recuperados.
- Comparación de los restos con otros yacimientos de edad semejante de la península ibérica primero y del resto del mundo posteriormente.

MATERIAL Y MÉTODOS

Las técnicas empleadas se han dividido en tres categorías: técnicas de campo, preparación del material en el laboratorio y técnicas para el estudio tafonómico.

Excavación y recuperación de restos de macrofauna

La mayor parte de los restos se encontraban en la superficie de las cavidades o bien enterrados en el sedimento que las rellenaba. En función de la cantidad de restos, así como del tamaño de las cavidades, se han empleado diversas estrategias.

En la cavidad de la Brecha del Rincón (Secús, B-9) se colocó una cuadrícula de excavación en el relleno de la galería superior. La cuadrícula que se instaló era de 1 × 1 metro (fig. 1a). Tomando como referencia esta cuadrícula se midieron las coordenadas XYZ de los restos identificables, así como de las esquirlas de hueso de tamaño mayor de 4 centímetros, siguiendo la metodología utilizada en CÁCERES (2002), RABAL-GARCÉS (2013) y SAUQUÉ (2015), entre otros. En los huesos largos y de gran tamaño se tomaron las coordenadas XYZ en dos o más puntos. Los datos de cada una de las piezas recuperadas fueron anotados tanto en el cuaderno de campo como en una etiqueta que se guardó en la misma bolsa donde se guardaba cada resto.

En otros casos no fue posible colocar una cuadrícula. En esas ocasiones, si el número de restos era elevado, como en la cueva de los Bucardos de Lecherines, la cueva se dividía en varios puntos que se indicaban en la topografía de la cueva. Se recogían todos los restos próximos a dicho punto para tener controlada la zona de cavidad donde habían aparecido. Otras veces, como en la cueva B-8 de Secús o la de Los Batanes, todos los restos fueron encontrados en un área muy localizada (pozos de pequeñas dimensiones) y, por tanto, pertenecen a un único conjunto faunístico.

Para los trabajos de excavación fue necesario utilizar diversos útiles y herramientas para extraer los fósiles del sedimento: punzones, picoletas, espátulas. Sin embargo, en la mayoría de las cavidades los restos se encontraban en superficie o ligeramente enterrados en el sedimento (fig. 1b y c). Así pues, para su extracción no se necesitó ningún utensilio de excavación o como mucho en algún momento una picoleta para hacer palanca para mover algún bloque caído. En cavidades como Los Batanes o la B-8, que son tubos de presión rellenos por sedimento, fue necesario extraer los restos óseos junto con el sedimento que los contenía. En algunos yacimientos como la excavación de la B-9 de Secús, debido a la fragilidad de algunas

piezas, fue necesario recurrir a la t́cnica de engasado, que consiste en cubrir el resto f́sil con gasas empapadas en *paraloid* disuelto al 10-15% de concentraci3n (fig. 1d). Esta t́cnica es sencilla y, adem1s, da muy buenos resultados, pues confiere a los restos fr1giles la rigidez necesaria para su transporte al laboratorio (RABAL-GARCÉS, 2013; SAUQUÉ, 2015).

Recuperaci3n de restos de microfauna

En el caso de la recuperaci3n de los restos f́siles de microfauna (microvertebrados), no podemos utilizar las mismas t́cnicas de excavaci3n que para la recuperaci3n de los restos de macrofauna. Las t́cnicas usadas en la extracci3n de f́siles de microvertebrados consisten b1sicamente en pasar el sedimento que los contiene por un tamiz debajo del agua para extraer el sedimento y dejar libres los huesos. Esta t́cnica fue introducida por Lartet en el siglo XIX y, posteriormente, fue perfeccionada por investigadores holandeses (v́anse referencias en SAUQUÉ, 2015). La t́cnica implica la movilizaci3n de una gran cantidad de sedimento.

Durante las campa1as de recogida de restos 3seos, se han recogido tambi3n sacos de sedimento de cada una de las cavidades donde se han recuperado restos f́siles de macrofauna. Para el procesado posterior del sedimento, el equipo de excavaci3n guarda el sedimento en sacos o bolsas de pl1stico con las coordenadas del 1rea de extracci3n, es decir, la cuadrícula (X, Y) y la profundidad (Z). Posteriormente, dichos sacos se procesan mediante la t́cnica de lavado-tamizado, que permite recuperar los restos de peque1os vertebrados presentes en el sedimento (fig. 1e). Para llevar a cabo el tamizado del material se utilizaron dos (o tres) tamices con diferente luz de malla decreciente (10,5 y 0,5 milímetros). Estos tamices se colocaron, bien en arroyos como en el caso de Secús o de Los Batanes, o bien en las instalaciones del Instituto Pirenaico de Ecología (IPE). Mediante el uso de cubos o de un grifo provisto de laminador, se fue echando el agua sobre las muestras situadas sobre los tamices para eliminar la matriz completamente. Una vez que ya no queda arcilla en la muestra solo quedan los f́siles limpios y lavados del sedimento junto con cantos de roca. Cuando ya no queda matriz de sedimento fino, se procede al secado de la muestra y, posteriormente, al triado de esta. Esta t́cnica

consiste en la separación de los restos de micromamíferos de los fragmentos de roca (fig. 1f). El triado de la fracción más grosera se realiza a simple vista, extendiendo el concentrado sobre una superficie plana (por ejemplo, un folio blanco) y extrayendo los restos con ayuda de unas pinzas. Para el triado de las fracciones de tamaño menor es necesario el uso de la lupa binocular. Una vez recuperados los restos, el siguiente paso es su identificación anatómica y taxonómica, aunque en ocasiones antes de pasar a dicha identificación es necesario lavar de nuevo parte de la muestra, debido principalmente a concreciones calcáreas. Para ello se utiliza una cubeta de ultrasonidos.

Preparación del material en el laboratorio

El material recuperado en las campañas de excavación fue transportado en sus envoltorios originales. Parte del material se procesó en el laboratorio del IPE, y otro material se preparó en el laboratorio de vertebrados de la Universidad de Zaragoza. Ya en el laboratorio se van abriendo los envoltorios o bolsas y se lavan bajo un fino chorro de agua utilizando o bien un cepillo de dientes de cerdas blandas o un pincel. Una vez limpios, se colocan en una bandeja con papel secante junto a su sigla de campo. Estas bandejas se sitúan en una zona donde no estén expuestas al sol, para que los restos se sequen lentamente, ya que un secado muy rápido genera estrías y fracturas que acaban destruyendo los restos. Cuando están secos, se evalúa su estado; los que presentan fracturas o parecen más débiles se consolidan. Para consolidar los restos se aplica directamente el consolidante sobre el fósil. En nuestro caso utilizamos un consolidante incoloro y reversible: el paraloid B72 disuelto en acetona al 5%. Por último, se procede al siglado de cada resto identificable, así como de las esquirlas mayores de 4 centímetros. Para escribir la sigla sobre el resto, primero se aplicó sobre este una fina capa de B72 disuelto en acetona a una proporción de alrededor del 30%, el cual una vez seco sirvió de soporte para escribir las siglas de cada pieza y de esta forma no dañar el hueso con la tinta (RABAL-GARCÉS, 2013; SAUQUÉ, 2015). La sigla consiste en una abreviatura del nombre del yacimiento (Brecha del Rincón – BR) seguida del año de la campaña. Posteriormente, se indica la cuadrícula de excavación y, finalmente, el número del resto. Ejemplo: BR15-J5-10.



Fig. 1. *a*, foto en la que se muestra la colocación de la cuadrícula en la cavidad B-9; *b* y *c*, labores de excavación en la cavidad B-9; *d*, costillas de oso engasadas para su posterior traslado al laboratorio; *e*, lavado de sedimento para la recuperación de microfauna; *f*, triado de las muestras lavadas para separar los restos fósiles de microfauna del sedimento.

Tafonomía

Para conocer el origen de la acumulación de los restos en las cavidades pirenaicas, se siguen los criterios utilizados por CRUZ URIBE (1991) para distinguir si las acumulaciones han sido producidas por un carnívoro o si las cuevas han actuado como trampas naturales.

También, en el caso de que los restos hallados en las cavidades presenten modificaciones por carnívoros, seguiremos la metodología desarrollada en RABAL-GARCÉS (2013) y SAUQUÉ (2015). Mediante el estudio de estas marcas se trata de conocer el animal que las produjo. Además, el estudio tafonómico de un yacimiento del Pleistoceno debe incluir los siguientes apartados:

- Cuantificación de elementos anatómicos.
- Fracturación.
- Marcas de diente de carnívoro.

Contexto geográfico y geológico

El proyecto se ha desarrollado en diversas zonas del Pirineo oscense. A continuación se describen las zonas principales donde se han prospectado yacimientos. Estas zonas son la sierra de Secús (valle de Hecho), la sierra de Tendeñera (Biescas), el Sistema Lecherines (Boráu) y la cueva de Forato de la Sierra (Fanlo). En este proyecto se han visitado las cavidades kársticas del Pirineo en las que los espeleólogos habían observado restos óseos en superficie, probablemente fósiles. Además, se prospectaron otras cavidades cercanas a estas para comprobar si tenían potencial fosilífero.

- La sierra de Secús es una alineación con orientación este-oeste que se sitúa al norte de Bisaurín (2669 metros), en cuyo macizo montañoso se integra. Conecta con Agüerri (2447 metros) a través de Costatiza (2332 metros) y con Bisaurín (2669 metros) por medio del Puntal de Secús (2514 metros), donde alcanza la máxima cota. Dentro de esta área se encuentra el Barranco Jardín (figs. 2 y 3).
- La sierra de Tendeñera es un elevado cordal que abarca desde el río Ara hasta el Gállego, formando una elevada cresta de cumbre con



Fig. 2. Foto aérea del área prospectada en la sierra de Secús (valle de Hecho).
(Imagen modificada de www.google.es/earth/index.html)

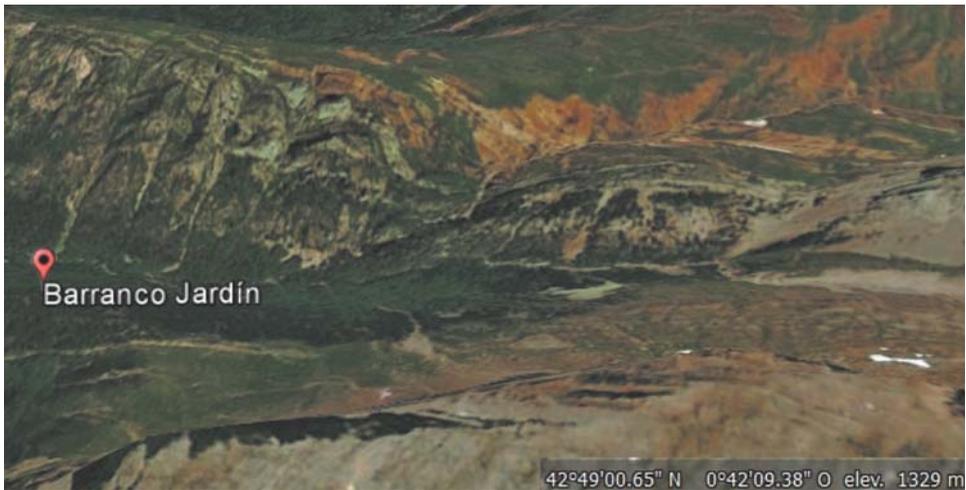


Fig. 3. Foto aérea del área prospectada en el Barranco Jardín (valle de Hecho).
(Imagen modificada de www.google.es/earth/index.html)

alturas de entre 2000 y 2800 metros. Esta sierra se desarrolla a lo largo de 15 kilómetros. La sierra separa claramente el Pirineo axial de la depresión intermedia. Al norte de esta quedan el valle de Tena y el alto Ara, al sur limita con la Ribera de Biescas y el Ara medio. La sierra de Tendeñera está formada por materiales mesoterciarios verticalizados y plegados (SERRANO y CAÑADAS, 1995) (fig. 4).



Fig. 4. Imagen aérea del área prospectada en la sierra de Tendeñera (Biescas). (Imagen modificada de www.google.es/earth/index.html)



Fig. 5. Imagen aérea del área de prospecciones en los Lecherines (Boráu), donde se encuentra la cueva de los Bucardos. (Imagen modificada de www.google.es/earth/index.html)

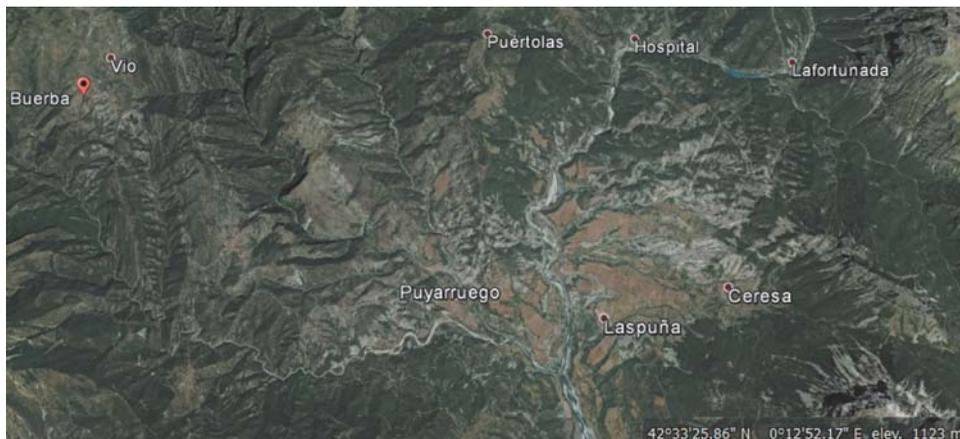


Fig. 6. Imagen aérea de la zona de prospecciones en las inmediaciones del cañón de Añisclo, donde se encuentra el Forato de la Sierra. (Imagen modificada de www.google.es/earth/index.html)

- El sistema de cavidades de Lecherines se abre en la cara sur del pico homónimo, situado en el valle del barranco Aguaré, afluente del río Aragón. Para llegar al sistema espeleológico hay que acceder por las bocas de las cavidades situadas entre los 1870 y 2100 metros. La geología de la zona de Lecherines está formada principalmente por areniscas. En el paisaje destaca la formación areniscas de Marboré, del Cretácico superior, y las calizas y dolomías de la formación Salarons, del Paleoceno. En dichas calizas y dolomías se produce la karstificación (CUCHÍ y cols., 2015) (fig. 5).
- El valle de Añisclo, concretamente en la zona de Serrato Gallisué. Esta sierra de pequeña entidad se sitúa al oeste del cañón de Añisclo. El Serrato Gallisué es una pequeña sierra de dirección norte-sur en la que se encuentran la Punta de ra Siarra (1491 metros). La cavidad que se prospectó, el Forato de la Sierra, se abre a 1220 metros de altitud (fig. 6).

RESULTADOS

En este apartado se presentan los principales resultados obtenidos durante la realización del proyecto. Dentro de los resultados es interesante reseñar que el principal objetivo del proyecto se ha cumplido con creces.

Este objetivo era el de recuperar y descubrir nuevos yacimientos paleontológicos en el Pirineo oscense. Por otro lado, otros objetivos todavía no se han llegado a completar, precisamente por la ingente cantidad de datos (restos fósiles) de campo que se han obtenido y, por tanto, los resultados de ciertos objetivos todavía son preliminares.

Prospección y recuperación de restos en superficie en el Pirineo

Este apartado representa el grueso del trabajo que se ha desarrollado hasta el momento. Debido a las condiciones climáticas presentes en el Pirineo, las labores de prospección y recuperación de restos no pudieron realizarse hasta la primavera-verano. Este trabajo se realizó en las áreas anteriormente descritas. A continuación se realiza una breve descripción de cada una de las actividades que se desarrollaron. A la hora de exponer estos resultados, se presentan cavidad por cavidad. En este apartado hay que tener en cuenta que solo se mencionan las cavidades que han dado positivo en cuanto a registro fósil, si bien durante la ejecución del proyecto se visitaron otras cavidades en las que no se han encontrado fósiles y que no aparecen en este trabajo.

Barranco Jardín

La cavidad Barranco Jardín J-1 se encuentra en X: 688.290; Y: 4743.240; Z: 1480 metros. Durante la campaña de exploración de 2012, miembros del CEA se percataron de la presencia de restos óseos en la parte más profunda de la cavidad J-1. En esta cavidad se han recogido varios fósiles de bucardo. Todos estos fósiles pertenecen a un mismo individuo, el cual debió de morir en el lugar donde se recogieron sus restos. Estos se encuentran bastante completos a excepción del cráneo que estaba pulverizado. La zona donde se encontraban estos restos estaba encharcada y con una costra calcárea que fosilizaba el barro donde estaban incluidos los restos. A pesar de que el cráneo estaba completamente destruido, se podía observar el lugar donde se había depositado. La rotura del cráneo debió de producirse por la caída sobre este de algún bloque del techo. A falta de un estudio biométrico parece que los restos pertenecen a un macho de gran tamaño. Por el momento no se han podido mandar a datar, pero tanto por la conservación

como por las similitudes de talla podría tener una edad similar al ejemplar de la cercana cavidad J-5. El relleno de la cavidad J-1 no contenía restos de microfauna (fig. 7).

La cavidad Barranco Jardín J-5 (X: 688.414; Y: 4743.187; Z: 1514 metros) es una galería prácticamente horizontal, en la cual los miembros del CEA observaron la presencia de huesos al fondo. Por ello, se decidió visitar la cueva para extraer dichos huesos y ver si eran fósiles o pertenecían a animales actuales. Los restos se encontraban acumulados al final de la galería principal. El estudio tafonómico de dicho yacimiento está en proceso, pero los fósiles recuperados pertenecen a un bucardo de talla grande, probablemente un macho, que murió donde se encontraron los restos. Esto se puede inferir debido a la gran cantidad de restos recuperados en una pequeña área, que tienen una talla similar y probablemente pertenezcan al mismo individuo. Además, los elementos están muy enteros y no presentan

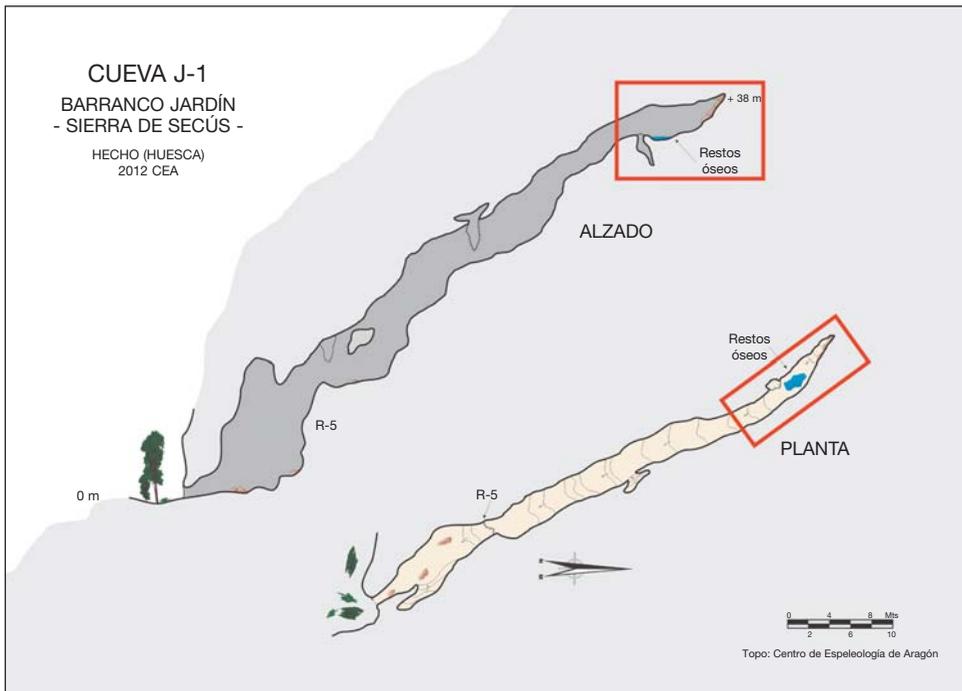


Fig. 7. Topografía de la cavidad Barranco Jardín J-1. El punto señalado en rojo indica el lugar donde se recogieron los restos. (Topografía realizada por el CEA)

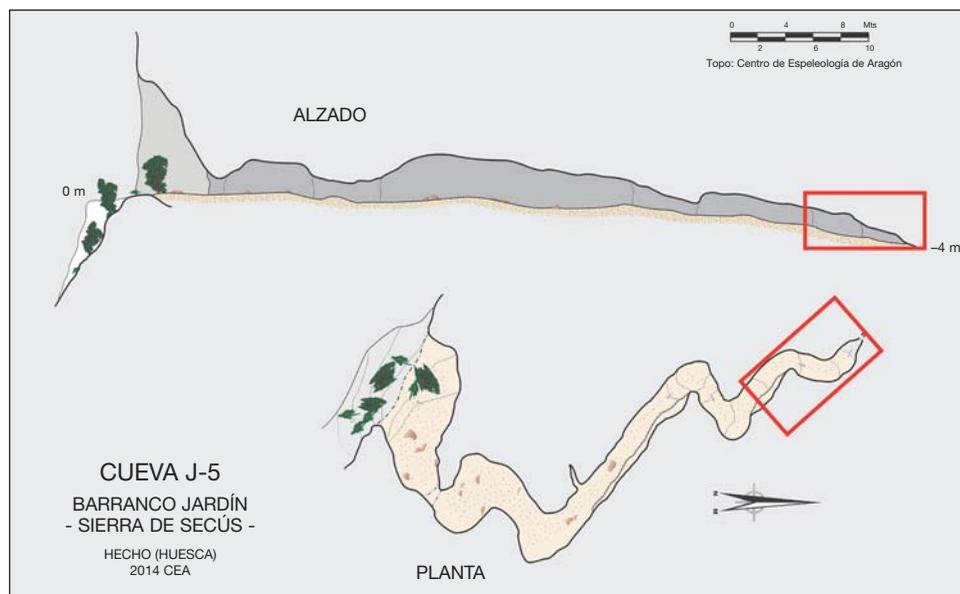


Fig. 8. Topografía de la cavidad Barranco Jardín J-5. El área señalada en rojo indica el lugar donde se recogieron los restos. (Topografía realizada por el CEA)

apenas modificación. Por otro lado, en el sedimento también se encontró un metapodial y una falange que pertenecen a un oso pardo.

Una vez recogidos los restos de macrofauna, se seleccionó un saco de sedimento de unos 10 kilogramos para comprobar si el yacimiento contenía restos de microfauna. Después del lavado, el sedimento se mostró muy rico en pequeños vertebrados. El estudio de dichos vertebrados está en proceso de realización por la doctora Gloria Cuenca-Bescós, del Área de Paleontología de la Universidad de Zaragoza. Debido al interés de los restos de este bucardo tan completo se envió un fragmento de hueso a datar mediante carbono-14, lo que nos ha permitido inferir una edad holocena para los restos recuperados en dicha cavidad (fig. 8).

Sierra de Secús: cuevas B-9 y B-8

En la sierra de Secús se realizó una campaña de excavación del yacimiento Brecha del Rincón (B-9), así como la prospección de las cavidades cercanas, lo que dio como resultado el descubrimiento de restos fósiles en

la cueva B-8. Esta campaña se realizó durante la primera semana de agosto y se hizo coincidir con la campaña de exploración espeleológica que organiza el CEA.

La Brecha del Rincón (B-9) se localiza en el término municipal de Hecho (X: 692.325; Y: 4741.635) a una altitud de 2160 metros. Se trata de una cavidad grande, actualmente en prospección espeleológica, con más de 2,5 kilómetros de desarrollo y más de 250 metros de desnivel (fig. 9). Esta campaña de excavación se centró principalmente en la búsqueda y recuperación de restos fósiles de osos y otros vertebrados fósiles que pudieran aparecer en la cueva. Previa al presente proyecto, en 2014 se llevó a cabo una primera campaña de excavación en la que se recuperó gran cantidad de restos fósiles de osos, así como material óseo de murciélagos, y resultaron ambos de un gran interés científico (RABAL-GARCÉS y SAUQUÉ, 2015). La campaña de 2015 se centró en tres objetivos diferentes:

- Recuperación del material fósil en los conductos *Ursus* y galería Sans (fig. 9a). Se continuó con la excavación del relleno sedimentario de la parte alta de la galería, pero la mayor parte de los restos se hallaron en superficie o ligeramente enterrados en el sedimento depositado entre bloques decimétricos de roca caliza (fig. 9). Casi la totalidad de los restos pertenecen al esqueleto poscraneal de oso, la mayoría correspondientes al metapodio, el carpo, el tarso y las falanges. A falta de una catalogación exhaustiva de los restos, el número de restos identificables asciende a varios centenares, correspondientes al menos a cuatro individuos diferentes. Han sido clasificados como *Ursus cf. deningeri*, especie de la que no se tenía constancia hasta este momento en el Pirineo español. Además, dada la elevada altitud de la cueva, la Brecha del Rincón se convierte en el yacimiento de osos de las cavernas situado a mayor altitud de la península ibérica.
- Realización de una cata cerca de la entrada de la cueva (fig. 9b). Se realizó una cata de 1 × 1 metro y 0,5 metros con el objetivo de observar el relleno de la cavidad cercano a la boca. Todo el sedimento se cribaba *in situ* para la recuperación de material fósil grueso y el resto se procesaba mediante el método de lavado-tamizado y posterior triado para la recuperación de microfauna. Se ha constatado la presencia de varias especies de murciélagos: *Plecotus* sp., *Myotis myotis*,

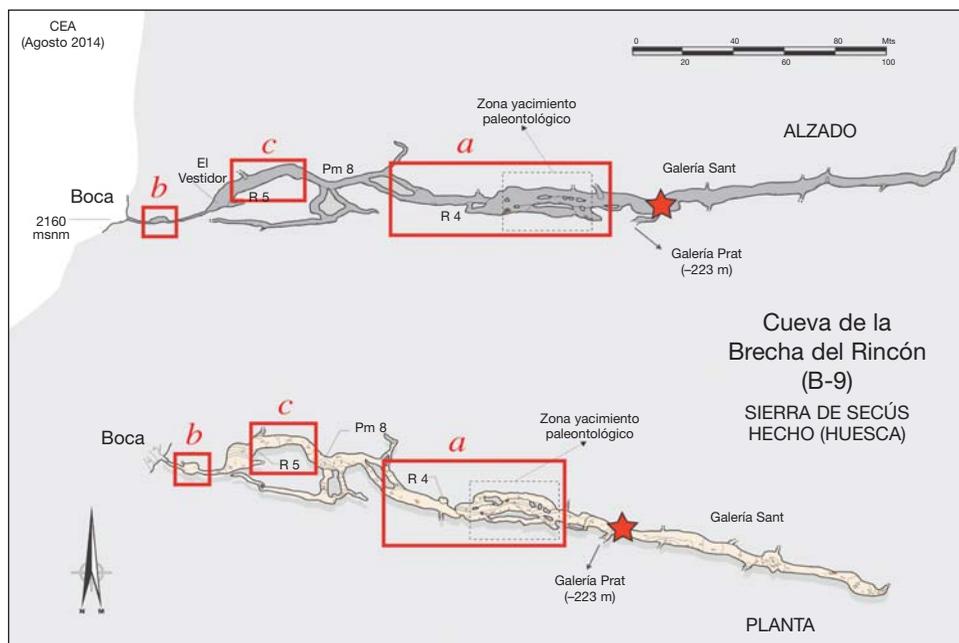


Fig. 9. Topografía de la Brecha del Rincón (B-9, Secús): *a*, zona donde se hallaron los restos de *Ursus cf. deningeri*; *b*, situación de la cata para la recuperación de microfauna; *c*, situación de las dos camas de oso. La estrella señala un punto de recuperación de un individuo de murciélago, el otro individuo se encontró en una de las galerías que están siendo exploradas actualmente por el CEA y que no figura en la topografía. (Topografía realizada por el CEA)

Myotis sp., *Vespertilionidae* indet., *Chiroptera* indet., así como algún resto aislado de *Ursus arctos*.

- Prospección de la cavidad en busca de restos superficiales. Se encontraron restos de dos individuos de murciélago en dos puntos distintos de la cavidad, así como dos camas de oso (fig. 9c). Los restos de murciélagos se han clasificado como *Plecotus* sp., *Myotis blythii* y *Myotis* sp.

Se consideró la prospección de la cueva B-8 (X: 692.268, Y: 4741.560, Z: 2130 metros), ya que el espeleólogo Manel Trepàt, del Equip de Recerques Espeleològiques del Centre Excursionista de Catalunya (Barcelona), entregó un cráneo de oso pardo que había encontrado allí en las prospecciones que su club realizó en los años ochenta. La cueva B-8 se localiza en

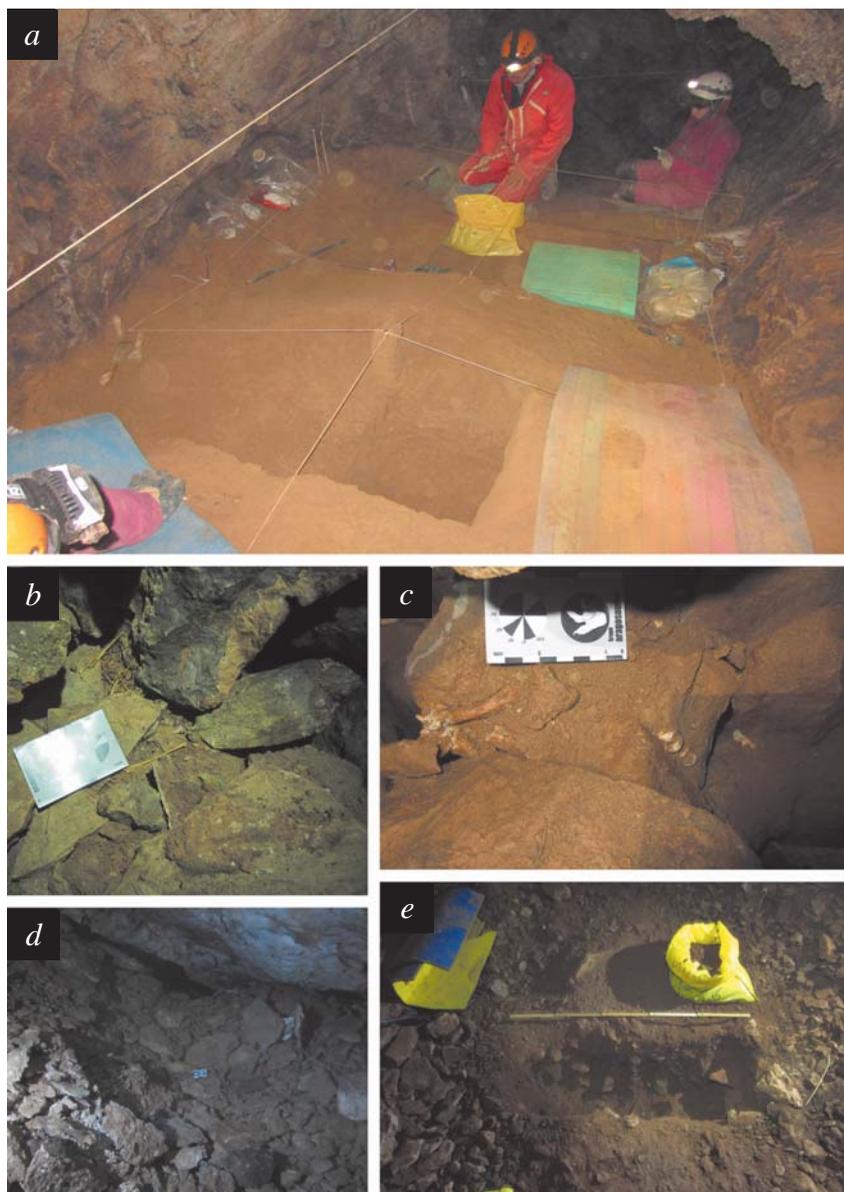


Fig. 10. Imágenes de la excavación en los diferentes puntos de los conductos *Ursus* y galería Sans en la Brecha del Rincón (B-9): *a*, relleno sedimentario de la parte alta de la galería; *b*, restos de murciélago hallados en superficie durante la prospección de la cavidad; *c*, restos fósiles entre bloques en la parte baja de la galería; *d*, cama de hibernación de oso en la Brecha del Rincón (B-9); *e*, proceso de realización de la cata cercana a la boca de la cueva en la Brecha del Rincón (B-9).

el municipio de Hecho. Se trata de una pequeña cavidad que consiste en un pasillo horizontal estrecho de unos 10 metros de largo que termina en un pozo de 5 metros de profundidad y 3 metros de diámetro (figs. 11 y 12). El fondo del pozo está cubierto de sedimento detrítico fino y ese sedimento contiene gran cantidad de restos fósiles. Además, al fondo del pasillo también aparece sedimento con restos fósiles, aunque en menor cantidad. Se recuperaron más de cien restos fósiles de macrofauna, pertenecientes principalmente a la especie *Ursus arctos*, incluyendo huesos de varios individuos, sobre

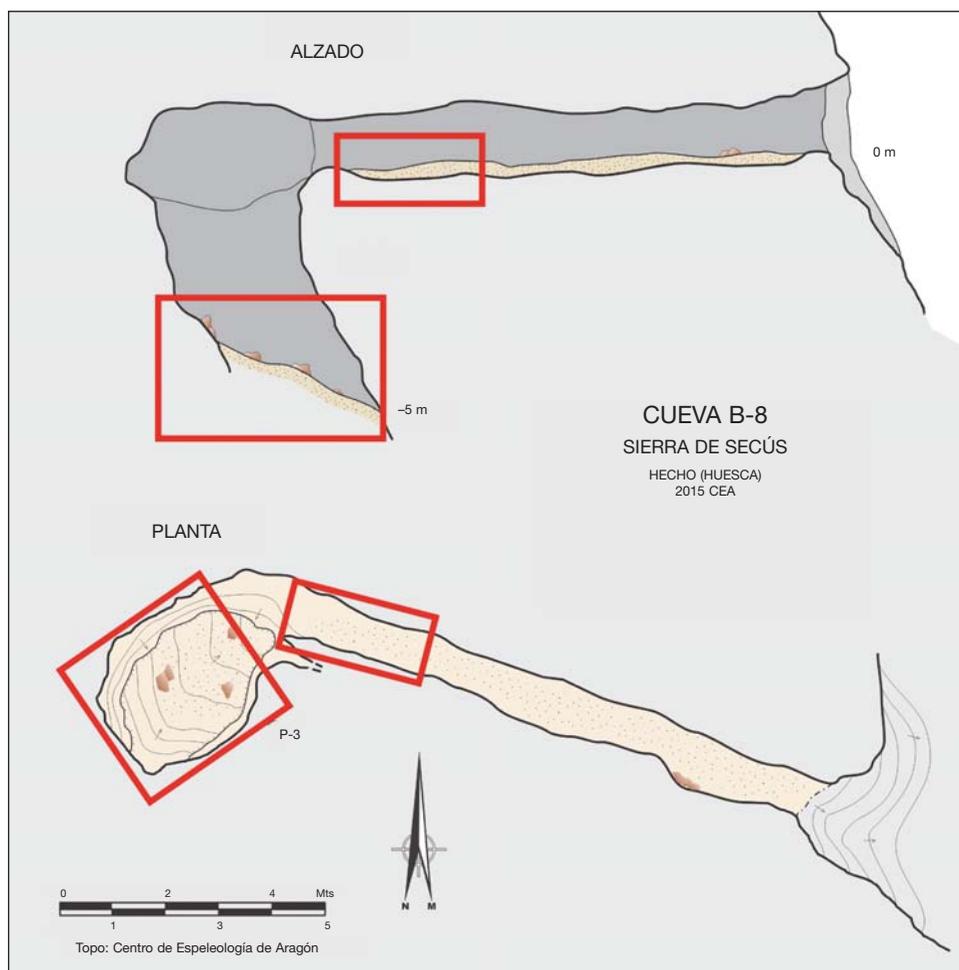


Fig. 11. Topografía de la cueva B-8 de Secús con indicación de los puntos en los que se recuperaron restos fósiles. (Topografía realizada por el CEA)



Fig. 12. Panorámica de la entrada de la cueva B-8 parte (superior). Fondo del pozo de la cueva B-8, completamente relleno de sedimento (a la izquierda) y detalle de fósiles de macrofauna incluidos en el sedimento (a la derecha).

todo juveniles. Por este motivo se considera que la cueva tuvo que haber sido utilizada por los osos como refugio invernal. Además, también se hallaron restos de *Capra pyrenaica*, aunque en menor número. Para valorar el contenido en microfauna de la cavidad, se procesaron unos 20 kilogramos de sedimento mediante el método de lavado-tamizado y posterior triado de los huesos. La lista faunística de microfauna realizada por la doctora Gloria

Cuenca-Bescós incluye *Arvicola sapidus*, *Chionomys nivalis*, *Microtus arvalis*, ¿*Plecotus*?, *Mammalia* indet., *Ophidia* indet. y *Gasteropoda* indet. Hasta el momento esta es la cueva del Pirineo aragonés con más individuos de oso pardo fósil, por lo que muestra un gran interés. Por este motivo, se ha mandado a datar mediante carbono-14 uno de los restos de oso al laboratorio Poznan Radiocarbon Laborator de Polonia, cuyos resultados se están esperando. Se cree que la cueva B-8 de Secús puede tener un gran potencial fosilífero tras esta valoración preliminar de la riqueza fosilífera, por lo que se espera continuar las excavaciones en un futuro.

Valle de Añisclo, Serrato Gallisué

En esta zona se llevó a cabo la prospección paleontológica de la cueva Forato de la Sierra, ya que hace unos años el CEA encontró un maxilar de oso pardo fósil en superficie y zarpazos de oso. El Forato de la Sierra se localiza en las cercanías del pueblo abandonado de Gallisué, en el municipio de Fanlo (X: 260.140, Y: 4711.610), a una altitud de 1220 metros. Se trata de una pequeña cavidad de unos 60 metros de profundidad (fig. 13). Tras la estrecha boca de menos de 1 metro de alto se abre una sala amplia que todavía sirve de refugio para el ganado. A lo largo de las paredes de la cueva hay pinturas rupestres de tipo esquemático, que están actualmente en estudio por Paloma Lanáu, de la Universidad de Zaragoza. Los restos paleontológicos se sitúan en el interior de la cueva tras pasar la primera sala grande de la entrada. Se han recuperado alrededor de un centenar de fósiles, la mayor parte de ellos en una estrecha galería, que es donde apareció el maxilar de oso (fig. 13). Algunos restos estaban en superficie, pero la mayoría se hallaron incluidos en un sedimento detrítico, bajo una costra milimétrica de carbonato de calcio. La lista faunística de este yacimiento incluye *Ursus arctos* (al que corresponde la mayoría del material recuperado) y dos herbívoros, que a falta de un estudio a fondo pueden pertenecer a las especies *Capra pyrenaica* y *Rupicapra pyrenaica*. Este material está en estudio, pero todo parece indicar que los restos de oso pardo pertenecen a un mismo individuo, que por el desarrollo de sus dientes y huesos, se trataría de un individuo juvenil, de entre 1 y 2 años. Los zarpazos de oso encontrados podrían pertenecer también a la especie *Ursus arctos*, pero para asegurarlo todavía es necesario hacer un estudio de la biometría de las marcas. Estas

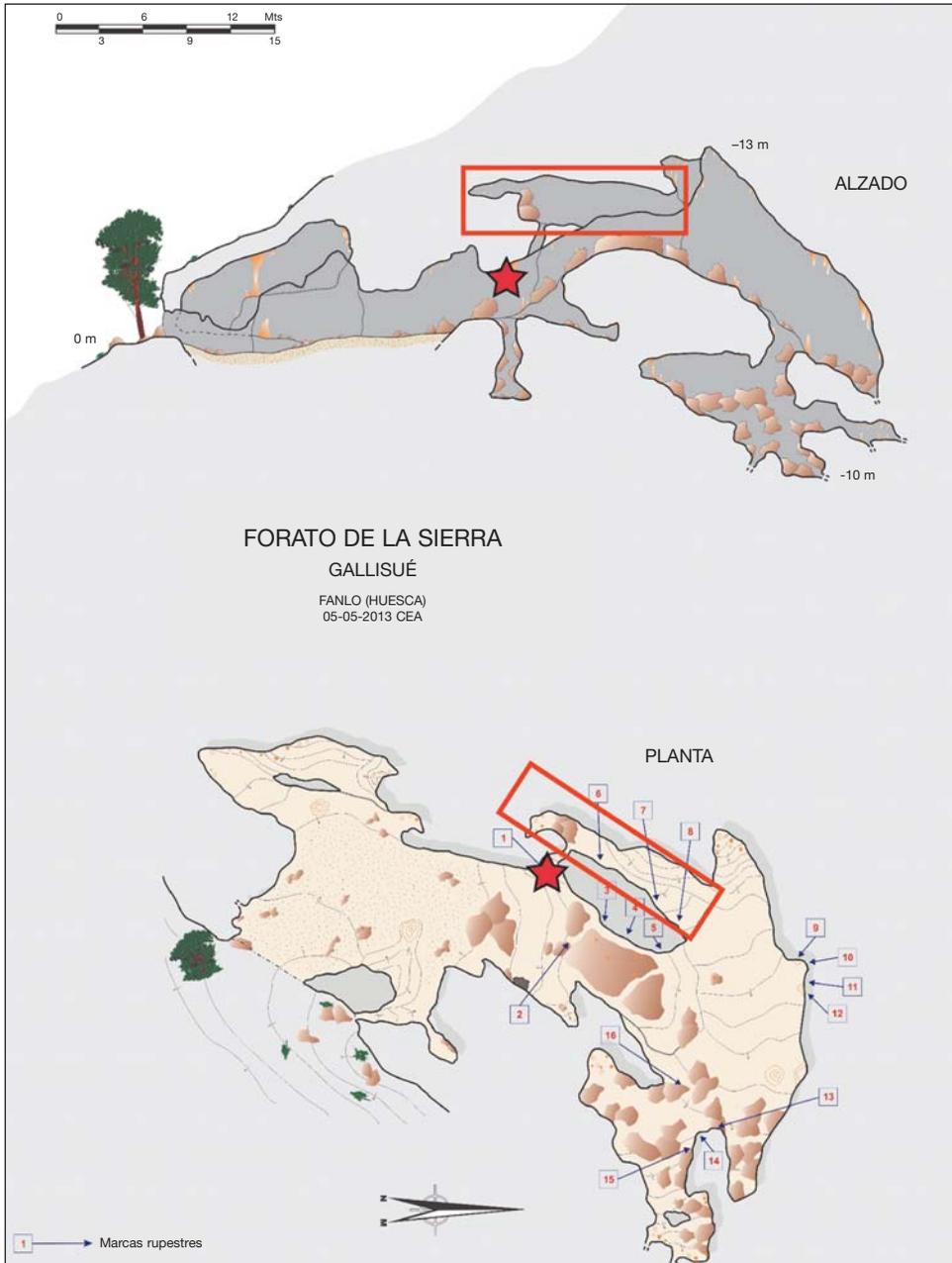


Fig. 13. Topografía del Forato de la Sierra (Gallisué) con indicación de la zona en la que se recuperaron restos fósiles. La estrella señala la zona de los zarpazos de oso; los números, los puntos con pinturas rupestres. (Topografía realizada por el CEA)



Fig. 14. Zarpazos de oso hallados en el Forato de la Sierra (izq.); detalle de la zona de excavación del Forato de la Sierra (dcha. arriba); pinturas rupestres (dcha. abajo).

son abundantes y bastante profundas, ya que están grabadas sobre un tipo de espeleotema conocido como *moonmilk*, que es blando cuando se forma, pero que actualmente se presenta endurecido (fig. 14).

Sierra de Tendeñera

En esta área se han visitado diversas cavidades, pero por el momento solo se han encontrado restos en la cueva de Los Batanes (Biescas) (X: 720.188; Y: 4726.800; Z: 1025 metros). Dicha cavidad es un sistema de tubos de presión al final de los cuales se encuentra un depósito de arcillas y bloques donde aparecen restos fósiles (fig. 15). La extracción de estos restos no fue sencilla, tanto porque la zona de trabajo era de dimensiones muy reducidas como porque los restos se quedaban pegados a la arcilla plástica, así que se extrajeron en forma de *pegotes* de barro con huesos. Posteriormente, este sedimento se lavó con la ayuda de tamices, con lo cual se pudo recuperar la microfauna.

El estudio tafonómico, así como la catalogación de los restos se encuentra en proceso de realización. En el yacimiento se han recuperado varios centenares de fósiles de *Capra pyrenaica pyrenaica*. Estos restos pertenecen a varios individuos de diferentes edades. En este yacimiento se han recuperado elementos dentales pertenecientes a individuos juveniles, adultos y seniles. Los dientes se han recuperado de manera aislada, pues no se ha encontrado ningún cráneo; además, los huesos largos completos son escasos. Esto nos indica que el grado de fracturación de la muestra es elevado, y a falta de un estudio tafonómico más detallado, el patrón que presenta la muestra del yacimiento de Los Batanes indica que dichos animales sufrieron cierto transporte.

Lo más probable es que la acumulación de huesos en este yacimiento se produjera por la caída de dichos animales en los tubos de presión. Además, los restos no presentan ni marcas de acción antrópica ni modificación por carnívoros.

Por otro lado, mediante las técnicas de recuperación de microfauna se recuperaron restos de murciélagos. La lista faunística del yacimiento de

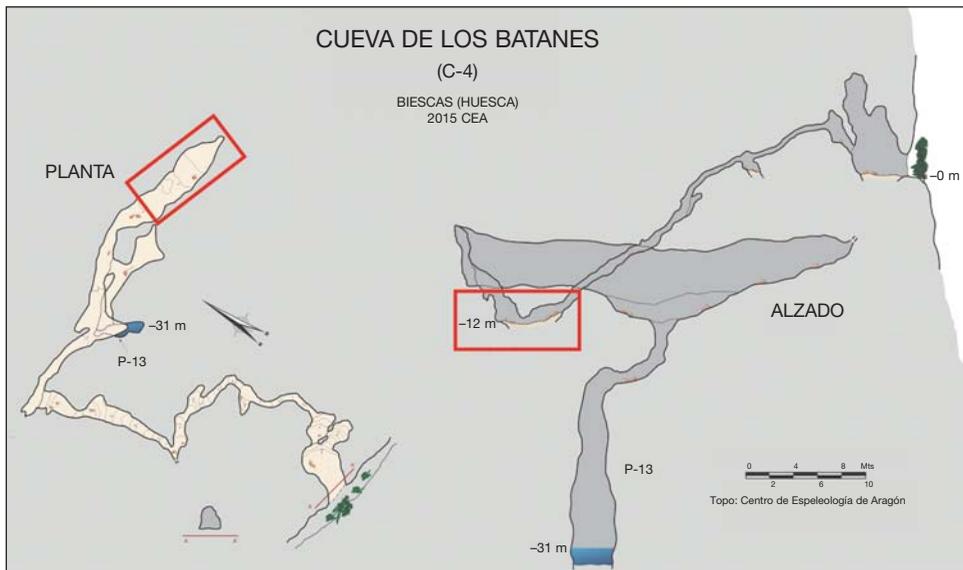


Fig. 15. Topografía de la cavidad Los Batanes. El punto señalado en rojo indica el lugar donde se recogieron los restos. (Topografía realizada por el CEA)

Batanes incluye *Capra pyrenaica pyrenaica*, *Rhinolophus euryale*, *Rhinolophus ferrumequinum*, *Myotis* cf. *nattereri* (MNI = 2), cf. *Miniopterus*, *Vespertilionidae* indet. y aves.

El depósito donde se encontraban los huesos estaba sellado en la superficie por una costra calcárea; por tanto, se decidió mandar a datar un hueso que estaba englobado en la costra. Mediante la datación de dicho hueso se ha obtenido una edad que nos indica que esa costra se formó en la transición Holoceno-Pleistoceno, por tanto, el conjunto de fósiles recuperados en Los Batanes se depositaron en los últimos momentos del Pleistoceno superior.

Los Lecherines

- Cueva C-15 (X: 702.022; Y: 4734.313; Z: 1751 metros). Esta cavidad presenta cuatro pozos con diámetros variables (1,5 metros – 3,5 metros) que presentan relleno de sedimento y bloques (fig. 16). En esta cavidad los espeleólogos hallaron restos de oso pardo, concretamente un

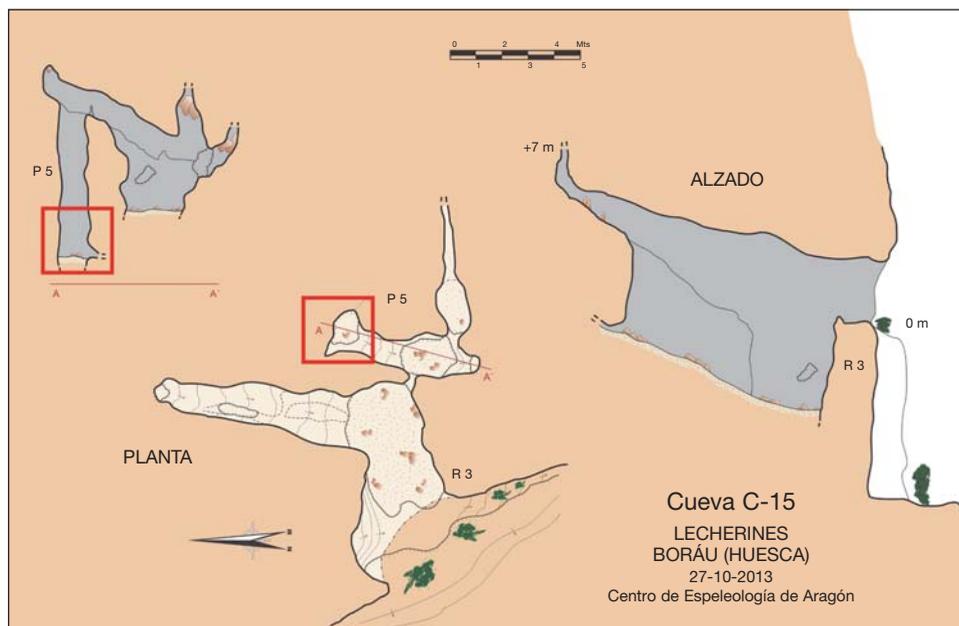


Fig. 16. Topografía de la cavidad C-15, el punto señalado en rojo indica el lugar donde se recogieron los restos. (Topografía realizada por el CEA)

húmero y una ulna derechos. Posteriormente, en agosto de 2015 se hizo una nueva visita a la cavidad para comprobar si había más material óseo interesante. En esta visita se recuperaron restos de microfauna, así como algún resto de cabra que se encuentra en estudio, por lo que todavía no se puede determinar si se trata de una cabra doméstica o de restos de bucardo. Sin embargo, no se encontró ningún resto más de oso.

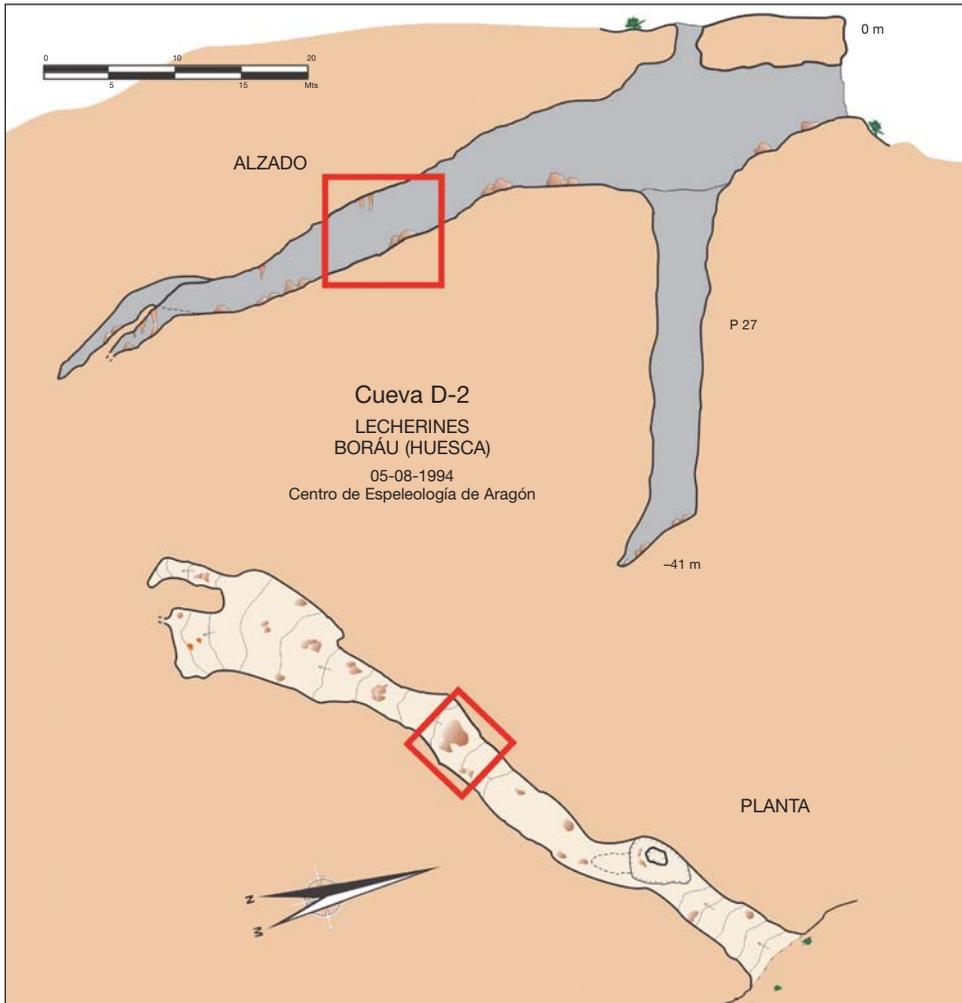


Fig. 17. Topografía de la cavidad D-2, el punto señalado en rojo indica el lugar donde se recogieron los restos. (Topografía realizada por el CEA)

- Cueva D-2 (X: 700.772; Y: 4735.667; Z: 1978 metros). En esta cavidad se recogieron una decena de restos óseos que pertenecían a *Capra pyrenaica*. No se han podido datar, así que no es posible asignarlos cronológicamente. Estos restos se tomaron tanto en superficie como en un pequeño relleno de sedimento que se encontraba entre dos bloques junto a una pared de la cavidad. Debido a los pocos restos que se han recuperado y a su estado de conservación es complicado realizar ninguna hipótesis sobre cómo han llegado estos restos allí. Por otro lado, en esta cavidad se han recuperado restos de microfauna y de macrofauna en superficie que tienen aspecto de ser actuales. Entre estos restos se ha identificado la presencia de huesos de sarrio.
- Cueva de los Osos de Lecherines (X: 700.692; Y: 4736.360; Z: 2243 metros). Esta cueva es destacable por la gran cantidad de restos de camas de oso, conformados a modo de grandes nidos entre los cascotes del fondo de la cavidad (figs. 18, 19 y 20). La boca de la cueva de los Osos de Lecherines se abre a 2243 metros de altitud. Para acceder a la galería principal donde se encuentran las camas de los osos hay que descender por un canchal de unos 100 metros de longitud y un desnivel de 60 metros. El trabajo de campo consistió en numerar, fotografiar, dibujar y medir cada cama de oso. Además, se recogieron las heces de los osos que se encontraban alrededor de algunas de las camas.

En el año 2006 la doctora Gloria Cuenca-Bescós, acompañada por miembros del CEA, recogió un esqueleto de oso pardo, hoy depositado en el Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Zaragoza. Este se encontraba en el interior de una cama y el cráneo presentaba la zona del morro partida de manera antrópica. Lo interesante de tener el oso en el interior en la cama es que nos permite saber qué especie de oso construyó estas camas. Es frecuente encontrar restos de osos muertos dentro de sus cuevas de hibernación, ya que durante ese periodo pierden mucha energía y no todos los individuos sobreviven.

En el futuro se pretende disgregar los excrementos para observar la dieta de estos. A simple vista se observan en dichas heces multitud de semillas, así como huesos de pequeños ungulados.

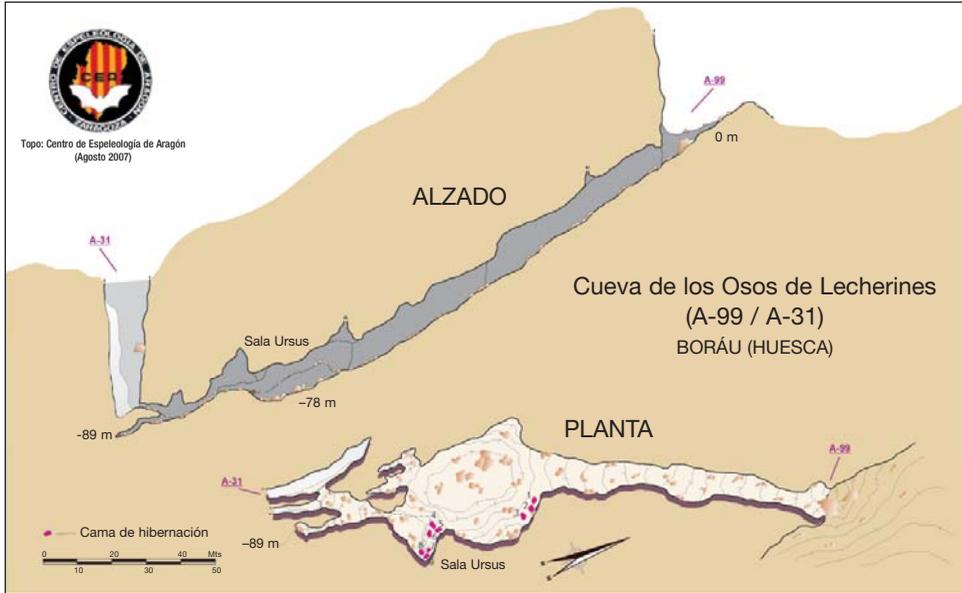


Fig. 18. Topografía de la cavidad A-99/A-31. (Topografía realizada por el CEA)

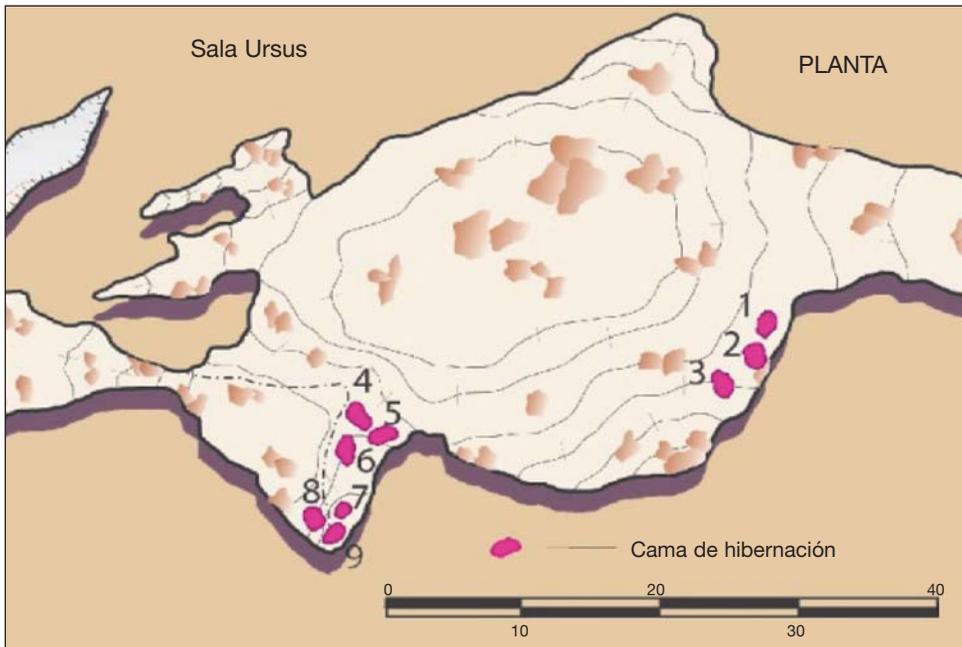


Fig. 19. Topografía de la cueva de los Osos de Lecherines (A-99 / A-31). En esta imagen se muestra la Sala Ursus en detalle, con las camas de los osos situadas en el plano de la misma.



Fig. 20. Vista panorámica de la entrada a la cueva de los Osos de Lecherines (A-99 / A-31) en la parte superior. La parte inferior de la imagen es una cama de hibernación. *a*: es una imagen de detalle de los excrementos presentes en el interior e inmediaciones de las camas y en los que se pueden observar fragmentos de huesos.

Las camas de los osos se han numerado en un esquema topográfico (fig. 19). El objetivo de numerarlas es controlar cuál es cada cama, ya que se fotografían y se toman muestras con dicha numeración.

- La cueva de los Bucardos forma parte del Sistema Lecherines. Este sistema kárstico, formado por varios kilómetros de galerías y con 1000 metros de profundidad, viene siendo explorado desde 1987 por el Centro de Espeleología de Aragón. En 2013, miembros del CEA encontraron unos pocos restos óseos, que pertenecían a un bucardo. En esta cavidad se han recuperado 447 restos de bucardo y 10 de oso pardo. Una vez transportados al laboratorio y estudiados, se ha llegado a la conclusión de que pertenecen a cinco ejemplares de *Capra pyrenaica pyrenaica*, así como a un ejemplar de oso pardo. Los restos se recogieron tanto en la superficie de la cavidad como semienterrados en un depósito sedimentario (fig. 21).

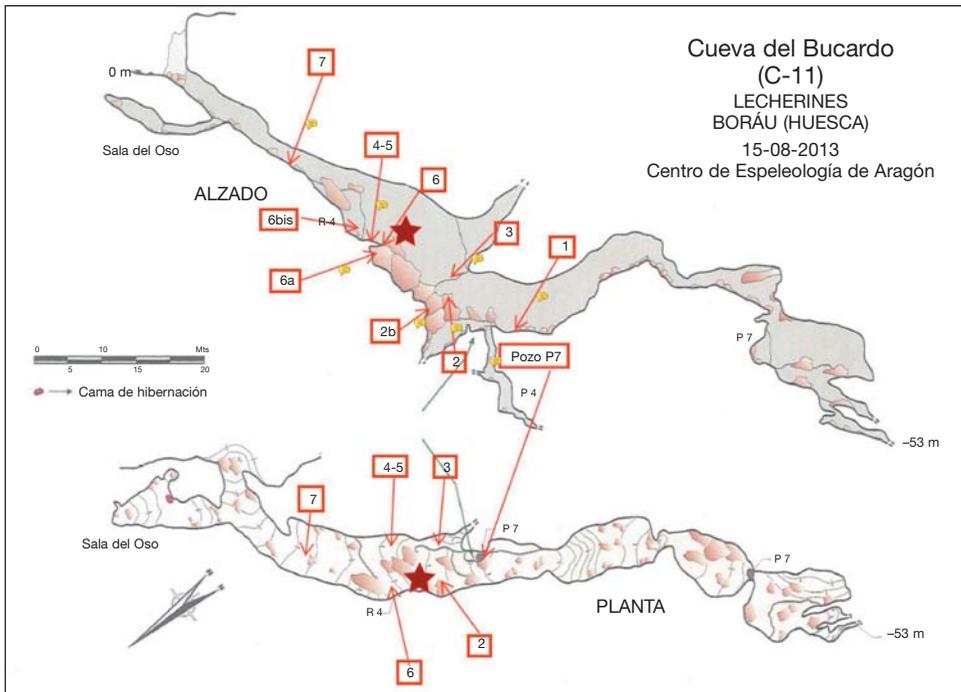


Fig. 21. Con una estrella se muestra el punto donde se halló la punta de flecha. Los números se corresponden con los distintos puntos donde se recogieron los fósiles. (Topografía realizada por el CEA)

La mayoría de los restos recuperados en superficie pertenecen a dos ejemplares prácticamente completos. De estos, 170 restos fueron asignados a un mismo individuo: el bucardo Cp1. Este individuo se encontró prácticamente completo. El esqueleto pertenece a un macho de edad avanzada. Su edad se observa en la artritis que sufrió el animal en sus últimos años de vida. Debido a esta característica lo hemos apodado el *Artrítico*. Otros 154 restos pertenecen al bucardo Cp2, ejemplar que también está prácticamente completo. En oposición al otro esqueleto completo, a este se le denominó el *Joven*, ya que los restos óseos pertenecen a un macho joven. Debido a la diferencia de osificación de ambos individuos fue posible separar los huesos de cada uno de ellos, a pesar de que ambos se recuperaron en la superficie de la cavidad y habían sufrido cierto desplazamiento. Además, ambos se dataron: se obtuvo una edad de Holoceno de entre los 4 y los 5 ka, mientras que la edad del Cp2 es unos 1000 años más antigua. Estos dos ejemplares, debido al excepcional estado de conservación, son los de bucardo macho mejor conservados del registro mundial.

También se encontraron varios restos pertenecientes a un tercer y cuarto individuo adulto de bucardo, el Cp3 y Cp5 (fig. 22). Se encuentran mucho menos completos y presentan una conservación diferente a los dos primeros, con un aspecto del hueso más envejecido. De hecho, la edad del Cp3 es mucho más antigua, entre los 50 000 y los 40 000 años (en el límite de la datación por radiocarbono), lo cual lo convierte en uno de los restos más antiguos de bucardo del registro fósil. Además, esta datación es muy interesante, ya que nos permite afirmar con total rotundidad que el bucardo estaba presente en el Pirineo español al menos desde hace 48 000 años, lo cual desmontaría otras teorías previas como la de CRÉGUT-BONNOURE (1992) que afirma que la presencia de *Capra pyrenaica* en los Pirineos tiene una antigüedad posterior a los 18 000 años (GARCÍA-GONZÁLEZ, 2011).

Además de los restos fósiles de bucardo, en esta cueva se encontraron huesos pertenecientes a un cabrito en superficie y varios restos de oso pardo semienterrados junto con el Cp3, además de dos camas de oso en una pequeña galería cercana a la entrada de la cavidad.

Otra característica que convierte a la cueva de los Bucardos en un punto de gran interés ha sido el hallazgo de una punta de flecha realizada en hueso (fig. 24). Dicho hallazgo se puso en conocimiento de los doctores Lourdes

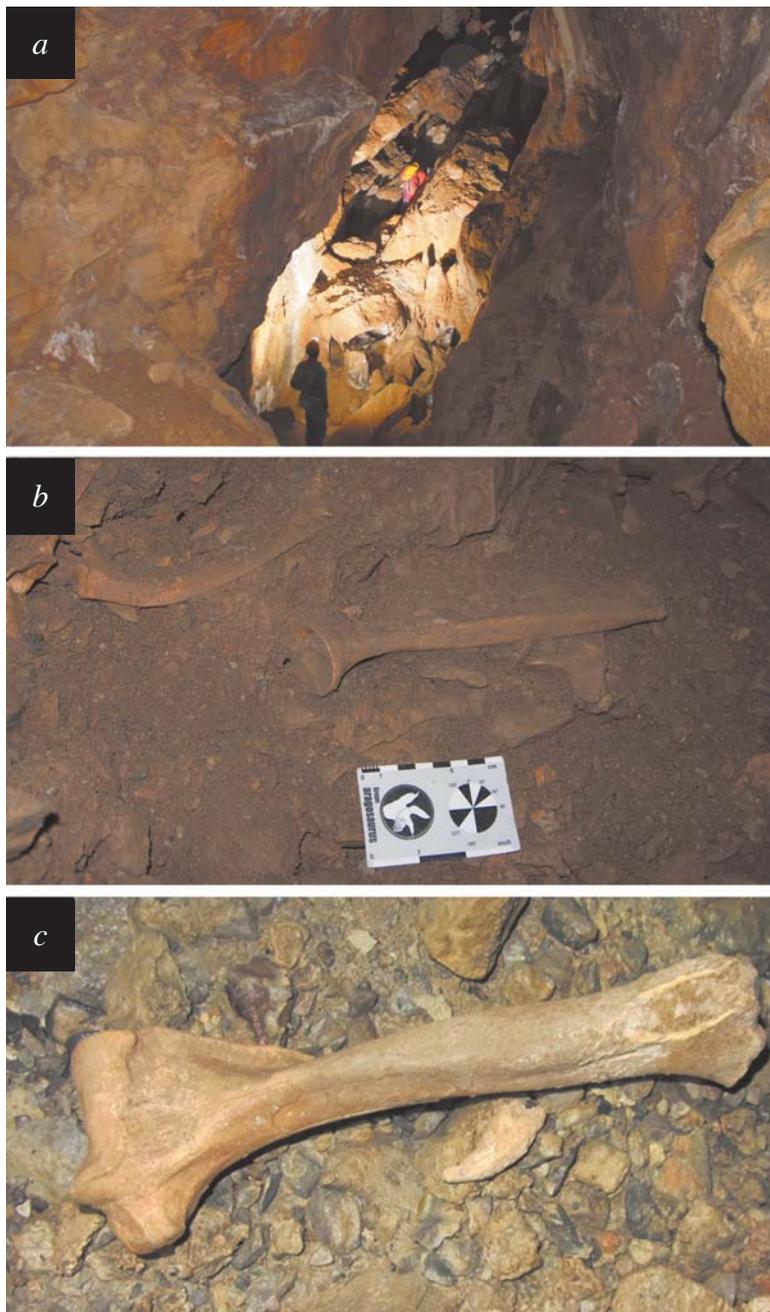


Fig. 22. *a*, fotografía del interior de la cueva de los Bucardos; *b*, restos de bucardo fósil semienterrados; *c*, húmero y canino de oso pardo hallados en la superficie de la cavidad.



Fig. 23. Vista lateral de dos cráneos de *Capra pyrenaica pyrenaica* recuperados en la cueva de los Bucardos: el ejemplar de la izquierda es el Cp3 y el ejemplar de la derecha es el cráneo del Cp1. En la parte inferior se presentan tres escápulas de bucardo: la de la izquierda se corresponde con un ejemplar actual de la colección del IPE, mientras que los otros dos son dos fósiles recuperados en la cueva de los Bucardos.

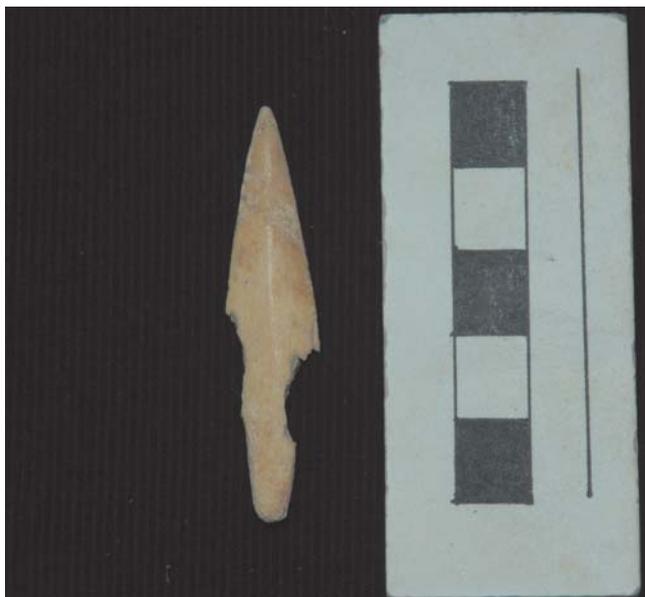


Fig. 24. Punta de flecha realizada en hueso hallada en la cueva de los Bucardos.

Montes y Rafael Domingo (del Departamento de Historia de la Universidad de Zaragoza), que la clasificaron como una punta bifacies pulida en sus dos caras, biseladas en ángulo muy abierto. La presencia de esta flecha indicaría que los bucardos ya presentaban un importante interés cinegético en el sector central del Pirineo oscense durante la prehistoria antigua.

Datación de los nuevos yacimientos

Cuando se estudian restos paleontológicos es de vital importancia conocer su edad, ya que conocer su edad es esencial para poder realizar inferencias tanto de tipo evolutivo como para reconstruir el paisaje en el pasado. La datación, bien de restos aislados o de rellenos de las cavidades pirenaicas, se ha realizado mediante la técnica del carbono-14. Para lo cual se han enviado diversas muestras al laboratorio de Poznan (Poznańskie Laboratorium Radiowęglowe, Polonia). El calibrado de los resultados se realizó mediante los ajustes propuestos por RAMSEY (2009). En algunos casos, como los restos recuperados en la Brecha del Rincón que no conservaban colágeno, no se pudieron datar mediante carbono-14. En el yacimiento de Los Batanes se envió

un fragmento de hueso que formaba parte de la costra calcítica que sellaba el depósito. Por tanto, la edad obtenida de este resto indica la edad mínima de los restos que se recuperaron bajo dicha costra. Con esta datación el yacimiento se sitúa en los estadios finales del Pleistoceno superior.

Uno de los casos más llamativos en cuanto se refiere a la cronología de los restos se da en la cueva de los Bucardos (Lecherines). En esta cavidad se observó que los restos superficiales tenían diferente conservación y ya en el gabinete se podía intuir que algunos estaban más *fosilizados*. Es decir, más mineralizados y con una densidad diferente. Estas apreciaciones se confirmaron cuando se recibieron las dataciones, ya que en esta cavidad se han recuperado bucardos de dos periodos temporales lejanos. Hay una población de bucardos holocenos (3-4 ka BP sin calibrar), mientras que estos restos más *fosilizados* presentan una edad de 44-45 ka BP sin calibrar.

Inventario de las cavidades con restos fósiles del Pirineo oscense

Para realizar este inventario se han revisado publicaciones científicas, informes sin publicar y memorias de exploraciones de diversos clubes de espeleología como CEA (Centro de Espeleología de Aragón), ERE-CEC (Equip de Recerques Espeleològiques del Centre Excursionista de Catalunya), SIE-CEA (Sección de Investigaciones Espeleológicas del Centro Excursionista Águila), GSPV (Groupe Spéléo Préhistorique Vosgien à Épinal), GGG (Grupo Geográfico de Gracia), IEES (Instituto de Estudios Espeleológicos de Sabadell), GEP (Grupo Espeleológico Pedraforca) y GERS (Grup d'Exploracions i Recerques Subterrànies), entre otros. En esta base de datos (tabla 1) se han incluido el grupo que exploró la cavidad y el año de la topografía de la cavidad, así como los restos de fauna que se han identificado. En un futuro próximo se espera contactar con los distintos grupos para saber dónde se encuentran los restos que se citan en las publicaciones. Una vez localizados, se intentará revisarlos para comprobar si la asignación taxonómica es correcta o si se pueden asignar a un determinado taxón aquellos que se encuentran clasificados a nivel de género o incluso de familia. A pesar de la gran cantidad de bibliografía e informes que se han revisado, todavía no se puede dar por definitiva esta revisión. Por tanto, hay que ser cautelosos a la hora de utilizar estos datos, los cuales no deben tomarse como definitivos.

Tabla 1. Listado de yacimientos del Pirineo oscense con restos óseos.

| Zona | Nombre de la cavidad | Topografía | Grupo | Desarrollo / desnivel (m) | Fecha del hallazgo | Restos hallados | Observaciones / bibliografía |
|------------|-------------------------------------|------------|---------|---------------------------|--------------------|--|---------------------------------|
| Alanos | Cueva del Onso | | | 37 | | | Listado de cuevas ERE en Alanos |
| Jardín | J-1 | | | | | <i>Capra pyrenaica pyrenaica</i> | |
| Jardín | J-3 | | | | | <i>Capra pyrenaica pyrenaica</i> , <i>Ursus</i> sp. | |
| Secús | B-9 (Cueva de la Brecha del Rincón) | 2002 | CEA | 2316 / -256 | | | |
| Secús | FO-4 (C-9) (Gruta Helada del Oso) | 1994 | ERE-CEC | 800 / -100 | 1971 | <i>Ursus</i> sp. | A y B |
| Mediodía | Z-2 (Pozo de los Sarrios) | 1994 | SIE-CEA | -117 | 1994 | <i>Ursus arctos</i> | C |
| Mediodía | Cercana Lizara (marcos) | | | | | | |
| Lecherines | A-8 | | | | | <i>Ursus arctos</i> | |
| Lecherines | Gruta del Oso | | | | | <i>Ursus arctos</i> | |
| Lecherines | D-2 | | | | | <i>Capra pyrenaica pyrenaica</i> , <i>Marmota marmota</i> | |
| Lecherines | A-111 | | | | | Gliridae, <i>Marmota marmota</i> | |
| Lecherines | C-11 | | | | | <i>Capra pyrenaica pyrenaica</i> , <i>Ursus arctos</i> | |
| Lecherines | C-12 | | | | | <i>Martes foina</i> | |
| Lecherines | C-15 | | | | | <i>Ursus arctos</i> | |
| Lecherines | Gruta de Ejsamundo | | | | | | |
| Collarada | Buchaquera | | GSPV | 2400 / -714 | 1973 | <i>Homo sapiens</i> , <i>Rupicapra pyrenaica</i> | D |
| Tendeñera | Cueva Batanes C-4 | 1979 | IEES | -39 | | <i>Capra pyrenaica pyrenaica</i> | |
| Telera | Sima P-6 (sima de la Partacua) | 1999 | SEV | 16558 / -825 | 1998 | <i>Ursus arctos</i> | E y F |

A: GROUPE D'ÉTUDES ET DE RECHERCHES ARCHÉOLOGIQUES ET SPÉLÉOLOGIQUES DE MONTPELLIER (GERSAM) (1971). *Synthèse Spéléologique Sierra Bernera (Huesca) 1971*. Montpellier (Francia). 18 pp.

B: EQUIP DE RECERQUES ESPELEOLÒGIQUES DEL CENTRE EXCURSIONISTA DE CATALUNYA (ERE-CEC) (1994). *Informe de la campanya espeleològica Castillo de Acher 94. Hecho (Huesca)*. Barcelona. 8 pp.

C: SECCIÓN DE INVESTIGACIONES ESPELEOLÓGICAS DEL CENTRO EXCURSIONISTA ÁGUILA (SIE-CEA) (1994). *Memorias de la expedición espeleológica al macizo de Bernera, Aragüés del Puerto (Huesca) 1994*. Barcelona.

D: GROUPE SPÉLÉO PRÉHISTORIQUE VOSGIEN (GSPV) (1986). *Memorias de la expedición espeleológica al macizo de Collarada (Huesca) 1985*. Vittel, Lorraine (Francia).

E: SOCIETAT ESPELEOLÒGICA DE VALÈNCIA (SEV) (1998). *Memoria de la campanya espeleológica Partacua 1998. Biescas (Huesca)*. Valencia. 33 pp.

F: GRUPO ESPELEOLÓGICO PEDRAFORCA (GEP) (1998). *Memoria de la campanya Ordesa 1998 (Huesca)*. Barcelona. 67 pp.

Tabla 1. (continuación)

| Zona | Nombre de la cavidad | Topografía | Grupo | Desarrollo / desnivel (m) | Fecha del hallazgo | Restos hallados | Observaciones / bibliografía |
|-----------|------------------------------|------------|-----------|---------------------------|--------------------|--|---------------------------------------|
| Arañonera | T-1 (Grallera del Turbón) | | | 45246 / -1349 | | <i>Ursus arctos</i> | Comunicación personal de Manel Trepal |
| Bujaruelo | Cueva del Granito | | | | 1996 | <i>Glis glis</i> | F |
| Ordesa | Sima de la Forca del Gabieto | 1975 | GSP | 2460 / -563 | 1976 | <i>Ursus arctos</i> | G |
| Ordesa | CS-53 | 1993 | GEP | 140 / -42 | 1993 | <i>Ovis</i> , Bovidae | G |
| Ordesa | CS-59 | 1994 | GEP | 92 / -42 | 1994 | <i>Ursus arctos</i> , <i>Capra pyrenaica pyrenaica</i> | G y J |
| Ordesa | CS-61 | 1994 | GEP | 90 / -42 | 1994 | <i>Capra pyrenaica pyrenaica</i> | G |
| Ordesa | CS-104 | 1994 | GEP | -10,5 | 1994 | <i>Capra hircus</i> | G |
| Ordesa | M-3 | 1996 | GEP | 22 / -20 | 1996 | <i>Capra pyrenaica pyrenaica</i> , <i>Ursus arctos</i> | J |
| Ordesa | MC-13 | | | -10 | 2000 | ¿ <i>Capra pyrenaica</i> ? | K |
| Ordesa | MS-2 | | | -11 | 1995 | <i>Capra pyrenaica pyrenaica</i> , <i>Microtus nivalis</i> | I |
| Ordesa | MS-10 | 1994 | GEP | -7 | 1994 | <i>Capra</i> | G |
| Ordesa | Cueva de la Mochera (SO-4) | 1996 | GEP | | 1996 | <i>Capra pyrenaica pyrenaica</i> | J |
| Ordesa | Cueva del Segundo Mirador | 2014 | D. Asenjo | | 2014 | | |
| Olas | Cueva Electro-meteoro (N-3) | 2003 | SCC | | 2004 | <i>Rupicapra pyrenaica</i> | L |
| Añiscló | BP-2 (Cueva Candón) | | | | | <i>Bos taurus</i> | Barranco Pardina |
| Añiscló | Cueva de Gallisué | | | | | <i>Ursus arctos</i> | |
| Añiscló | Cueva Lobrica | | | | | <i>Capra pyrenaica pyrenaica</i> | |
| Escuaín | C-32 / Cueva de l'Onso | 2007 | GGG | 107 | 1996 | <i>Ursus arctos</i> , <i>Capra pyrenaica pyrenaica</i> | M |
| Escuaín | C-88 (CV-15) | 2007 | GEB | 155 / -18 | 2007 | <i>Ursus</i> sp. | M |

G: GRUPO ESPELEOLÓGICO PEDRAFORCA (GEP) (1995). *Memoria de la campaña Ordesa 1994 (Huesca)*. Barcelona. 49 pp.

H: PUCH, Carlos (1998). *Grandes cuevas y simas de España*. Espeleo Club de Gràcia. Barcelona. 816 pp.

I: GRUPO ESPELEOLÓGICO PEDRAFORCA (GEP) (1995). *Memoria de la campaña Ordesa 1995 (Huesca)*. Barcelona. 52 pp.

J: GRUPO ESPELEOLÓGICO PEDRAFORCA (GEP) (1996). *Memoria de la campaña Ordesa 1996 (Huesca)*. Barcelona. 71 pp.

K: GRUPO ESPELEOLÓGICO PEDRAFORCA (GEP) (2000). *Memoria de la campaña Ordesa 2000 (Huesca)*. Barcelona. 47 pp.

L: SPÉLÉO CLUB DU COMMINGES (SCC) (2004). *Memoria de la expedición espeleológica Las Olas 2004 (Huesca)*. Arbas (Francia). 38 pp.

M: GRUP D'ESPELEOLOGIA DE BADALONA (GEB) (1997). *Informe de la 40.ª campaña espeleológica a Escuaín 2007*. Badalona (Barcelona). 25 pp.

Tabla 1. (continuación)

| Zona | Nombre de la cavidad | Topografía | Grupo | Desarrollo / desnivel (m) | Fecha del hallazgo | Restos hallados | Observaciones / bibliografía |
|-----------|---|------------|-------|---------------------------|--------------------|---|------------------------------|
| Escuaín | Cueva de los Osos (Tella) | | | | 1970 | <i>Ursus spelaeus</i> | A |
| Cotiella | Agujero de Betrín (L-4) | 2008 | ACEC | 77 / -16 | 2008 | Esqueletos de ovejas | N |
| Benasque | PL-3 (Cova de la Pleta de Padernas) | 1995 | ECS | | 1995-1998 | <i>Ursus spelaeus</i> | N |
| Benasque | Cueva de la Ubaga | 2006 | | | | Cerámica, molar de oso | F |
| Benasque | Bujerín de Alba (Sistema de Alba) | 1983 | GERS | 6548 / -546 | 1981 | <i>Ursus arctos</i> | |
| Benabarre | Sima de la Sía de la Música | | | | | Restos óseos (fauna) | |
| Guara | Cueva de los Moros I (Gabasa 1) | | | | | <i>Equus caballus</i> , <i>E. hydruntinus</i> , <i>Bovini</i> , <i>Rhinocerotidae</i> , <i>Cervus elaphus</i> , <i>Capra pyrenaica</i> , <i>Rupicapra pyrenaica</i> , <i>Capreolus capreolus</i> , <i>Sus scropha</i> , <i>Ursus spelaeus</i> , <i>Crocota crocuta spelaea</i> , <i>Panthera spelaea</i> , <i>Panthera pardus</i> , <i>Canis lupus</i> , <i>Cuon alpinus</i> , <i>Vulpes</i> , <i>Lynx spelaea</i> , <i>Felis silvestris</i> , <i>Meles meles</i> y <i>Mustela putorius</i> | O y P |
| Guara | Chaves (Bastarás) | | | | | <i>Capra pyrenaica</i> , <i>Cervus elaphus</i> , <i>Bos bison</i> , <i>Rupicapra pyrenaica</i> , <i>Sus scrofa</i> , <i>Lepus</i> sp., <i>Oryctolagus cuniculus</i> , <i>Lynx pardinus</i> | Q y R |
| Guara | Cueva de las Campanas / Forau de la Caballera (La Puebla de Castro) | | | | | Cerámica, sílex, restos óseos | |
| Guara | Abrigo Fuentes de San Cristóbal (Veracruz) | | | | | <i>Equus</i> sp., <i>Cervus</i> sp., <i>Capra</i> sp. | R |

N: ASOCIACIÓN CIENTÍFICO ESPELEOLÓGICA COTIELLA (ACEC) (2008). *Memorias de la campaña en el macizo de Cotiella*. Plan (Huesca).

O: BLASCO-SANCHO, M.^a F. (1995). *Hombres, fieras y presas: estudio arqueozoológico y tafonómico del yacimiento del Paleolítico medio de la cueva de Gabasa I (Huesca)*. Universidad de Zaragoza (Monografías Arqueológicas, 38). Zaragoza. 203 pp.

P: MONTES, L., P. UTRILLA y M. MARTÍNEZ BEA (2006). Trabajos recientes en yacimientos musterienses de Aragón: una revisión de la transición Paleolítico medio / superior en el valle del Ebro. *Zona Arqueológica*, 7: 215-232.

Q: CASTAÑOS, P. M.^a (1993). Estudio de los macromamíferos de los niveles paleolíticos de Chaves (Huesca). *Bolskan*, 10: 9-30.

R: UTRILLA, P. (2000). El Paleolítico en el valle medio del Ebro: una "Revista de Prensa" en el cambio de milenio. *Spal*, 9: 81-108.

CONCLUSIONES

Mediante este proyecto se ha constatado la presencia de ocho nuevos yacimientos paleontológicos. Estos yacimientos son Los Batanes (sierra de Tendeñera), J-1 y J-5 de Barranco Jardín (valle de Hecho), B-8 (sierra de Secús), la cueva de Forato de la Sierra (Gallisué) y las tres cavidades del Sistema Lecherines: la cueva de los Bucardos, C-15 y D-2. Además, se han recuperado más restos en la cueva de la Brecha del Rincón (B-9) y se han estudiado las camas de la cueva de los Osos de Lecherines. En esta cavidad también se tomaron muestras de excrementos de osos.

Los yacimientos paleontológicos en el Pirineo oscense presentan una asociación faunística basada en el binomio *Capra pyrenaica* – *Ursus arctos*. Además, un estudio preliminar de la microfauna indica la presencia de determinadas especies de murciélagos a una altitud mayor a la esperada.

En el Pirineo se han encontrado yacimientos que abarcan desde el Pleistoceno medio, como la Brecha del Rincón (B-9), hasta el Holoceno J-5 y parte de los bucardos de la cueva de los Bucardos de Lecherines (4 ka).

La cueva de Los Batanes es un tubo de presión que durante el Pleistoceno actuó como trampa natural para los bucardos que vivían en sus inmediaciones. El material fósil recogido en dicha cavidad tiene una edad mínima de la transición Holoceno – Pleistoceno superior.

Los yacimientos presentes en las cavidades J-1, J-5, C-15, D-2 y cueva de los Bucardos están formados por restos aislados de animales que murieron en el interior de las cavidades sin apenas transporte.

Los ejemplares de *Capra pyrenaica pyrenaica* de la cueva de los Bucardos en Lecherines tienen un estado de conservación excepcional. Estos esqueletos son los más completos en el registro a nivel mundial para este taxón.

El yacimiento B-8 es una sima llena de sedimento en el cual se han acumulado restos fósiles durante años. La gran cantidad de restos de osos, así como sus edades, indican que la cueva pudo ser ocupada por los osos durante la hibernación. Por otro lado, la lista faunística de este yacimiento lo convierte en un punto de gran interés para reconstruir el ambiente en el pasado en esa zona.

La Brecha del Rincón es el primer yacimiento de *Ursus cf. deningeri* en el Pirineo aragonés y el yacimiento a mayor altitud de osos de las cavernas y de *Myotis myotis* y *Myotis mystacinus* de España.

La cueva de los Osos de Lecherines presenta una concentración inusual de camas de hibernación de osos, además de encontrarse restos óseos en una de ellas y restos de heces en las inmediaciones de varias de ellas.

En el Forato de la Sierra destaca el hallazgo de zarpazos de oso bien conservados.

La revisión bibliográfica preliminar de los informes de grupos espeleológicos indica la presencia de restos fósiles en 47 cavidades pirenaicas.

El Pirineo oscense es una región con una gran riqueza desde un punto de vista paleontológico. Por ello, esperamos que en los próximos años se convierta en un área de referencia para el estudio de los yacimientos pleistocenos a gran altura, tanto a nivel nacional como europeo.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC) y a la Universidad de Zaragoza, por prestarnos sus instalaciones para la realización del lavado y procesado del material fósil. Al grupo Aragosaurus, por ayudarnos en las tareas de campo y por prestarnos material de excavación, restauración y preparación de restos fósiles. A todos los miembros del Centro de Espeleología de Aragón, quienes nos han ayudado en todo momento, tanto en nuestra actividad en el interior de las cavidades como en los accesos y en los campamentos que organizamos para llevar a cabo la recolección del material. A Laureano Gómez, por su ayuda en las prospecciones de Secús, Barranco Jardín y Los Batanes. A los espeleólogos del club ERE-CEC (Equip de Recerques Espeleològiques del Centre Excursionista de Catalunya), en especial a Manel Trepàt, quien nos entregó material fósil recogido en los años ochenta. Al doctor Philippe Fosse de la Universidad Le Mirail (Toulouse), por su ayuda en la campaña de Secús y sus interesantes comentarios sobre los úrsidos del Pleistoceno. A la doctora Lourdes Montes y al doctor Rafael Domingo, que nos ayudaron en la clasificación de la punta de flecha, así como en todas esas facetas arqueológicas que estaban

relacionadas con este proyecto. A la doctora Gloria Cuenca, por la clasificación y estudio de los restos de microfauna, y a Julia Galán, por la clasificación de los restos de murciélagos hallados en el proyecto y su ayuda en las prospecciones de campo. A Carmen Núñez, por ayudarnos en el procesado de la microfauna y aceptar la invitación para estudiar las aves fósiles que se han recuperado. Al doctor Diego Castanera, por ayudarnos en las campañas de campo de Secús y por su colaboración en el estudio icnológico del Pirineo. A Rafael Laborda, Vanesa Mouco, Paloma Lanáu, Jorge Sevil y Sergio Rasal, tanto por su ayuda en el trabajo de campo como por sus comentarios

Al Gobierno de Aragón, por concedernos el permiso para la actuación “Solicitud de prospección paleontológica de las cavidades kársticas del Pirineo de los términos municipales de los valle de Hecho, Aragüés del Puerto, Aísa, Boráu, Biescas, Fanlo y Benasque (Huesca)”, sin el cual este proyecto no podría haberse realizado. A los Ayuntamientos de Hecho y Boráu, por autorizar el montaje de los campamentos de espeleología del CEA.

El proyecto “Bucardos y osos fósiles del Pirineo; recuperación de restos paleontológicos, catalogación y datación de los yacimientos del Pleistoceno-Holoceno de las cavidades del Pirineo oscense” ha podido ser llevado a cabo gracias a una Ayuda a la Investigación concedida en la convocatoria del año 2014 por el Instituto de Estudios Altoaragoneses.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, P., y J. CASSINELLO (2009). Biology, ecology and status of Iberian ibex *Capra pyrenaica*: a critical review and research prospectus. *Mammal Review*, 39: 17–32.
- CÁCERES, I. (2002). *Tafonomía de yacimientos antrópicos en karst. Complejo Galería (sierra de Atapuerca, Burgos), Vanguard Cave (Gibraltar) y Abric Romaní (Capellades, Barcelona)*. Tesis doctoral presentada en la Universitat Rovira i Virgili.
- CLEVENGER, A. P., M. Á. CAMPOS y A. HARTASÁNCHEZ (1994). Brown bear *Ursus arctos* predation on livestock in the Cantabrian Mountains, Spain. *Acta Theriologica*, 39 (3): 267-278.
- CLOT, A., y J. EVIN (1986). Gisements naturels pléistocènes et holocènes des cavités des Pyrénées Occidentales françaises: inventaire et datages 14C. *Munibe*, 38: 185-194.

- CRÉGUT-BONNOURE, E. (1992). Intérêt biostratigraphique de la morphologie dentaire de *Capra* (Mammalia, Bovidae). *Ann. Zool. Fennici.*, 28: 273-290.
- CRUZ URIBE, K. (1991). Distinguishing Hyena from Hominid Bone Accumulations. *Journal of Field Archaeology*, 18 (4): 467-486.
- CUCHÍ, J. A., L. GÓMEZ, M. GISBERT, M. PASTOR, J. L. ASENSIO, J. L. MONTAÑÉS y J. A. MANSO (2015). Nota sobre la presencia de *moonmilk* en una cavidad del valle de Hecho (Huesca). *Lucas Mallada*, 14: 181-185.
- GALÁN, J., V. SAUQUÉ, R. RABAL-GARCÉS, C. NÚÑEZ-LAHUERTA, G. CUENCA-BESCÓS y J.-M. LÓPEZ-GARCÍA (2015). Quirópteros del Pirineo aragonés: resultados preliminares tras las prospecciones de tres cuevas con relleno sedimentario pleistoceno. En L. Domingo y cols. (eds.), *Current Trends in Paleontology and Evolution*: 129-131. Cercedilla. Madrid.
- GARCÍA-GONZÁLEZ, R. (2011). Elementos para una filogeografía de la cabra montés ibérica (*Capra pyrenaica* Schinz, 1838). *Pirineos*, 166: 87-122.
- GARCÍA-GONZÁLEZ, R. (2012). New Holocene *Capra pyrenaica* (Mammalia, Artiodactyla, Bovidae) skulls from the southern Pyrenees. *Comptes Rendus Palevol.*, 11: 241-249.
- GARCÍA-GONZÁLEZ, R., y J. HERRERO (1999). El bucardo de los Pirineos: historia de una extinción. *Galemys*, 11: 17-26.
- NAVES, J., y G. PALOMERO (1993). Ecología de la hibernación del oso en la Cordillera Cantábrica. En J. Naves y G. Palomero (eds.), *El oso pardo (Ursus arctos) en España*: 147-181. ICONA (Colección Técnica). Madrid.
- RABAL-GARCÉS, R. (2013). *Estudio paleontológico de Ursus spelaeus Rosenmüller, 1794 del Pleistoceno superior de Coro Tracito (Tella, Huesca, España)*. Tesis doctoral presentada en la Universidad de Zaragoza. 516 pp.
- RABAL-GARCÉS, R., y V. SAUQUÉ (2014). Un nuevo yacimiento de osos de alta montaña en el Pirineo aragonés: la Brecha del Rincón (Huesca, España). En G. Arreguín-Rodríguez y cols. (eds.), *New insights on ancient life*: 178-181. PUZ. Zaragoza.
- RABAL-GARCÉS, R., y V. SAUQUÉ (2015). A new Pleistocene cave bear site in the high mountains of the Spanish Pyrenees: la Brecha del Rincón (Huesca, Spain). *Comptes Rendus Palevol.*, 14 (4): 311-320.
- RABAL-GARCÉS, R., G. CUENCA-BESCÓS, J. I. CANUDO y T. TORRES (2012). Was the European cave bear an occasional scavenger? *Lethaia*, 45: 96-108.
- RAMSEY, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon.*, 51: 337-360.
- SAUQUÉ, V. (2015). *Tafonomía, sistemática y aproximación paleoambiental de los mamíferos del Pleistoceno superior del Moncayo (Zaragoza)*. Tesis doctoral presentada en la Universidad de Zaragoza, 303 pp.
- SAUQUÉ, V., y G. CUENCA-BESCÓS (2013). The Iberian Peninsula, the last European refugium of *Panthera pardus* Linnaeus 1758 during the Upper Pleistocene. *Quaternaire*, 24: 35-48.

- SAUQUÉ, V., R. RABAL-GARCÉS, C. SOLA-ALMAGRO y G. CUENCA-BESCÓS (2014a). Bone accumulation by leopards in the Late Pleistocene in the Moncayo massif (Zaragoza, NE Spain). *PLoS One*, 9 (3): e92144.
- SAUQUÉ, V., R. GARCÍA-GONZÁLEZ y G. CUENCA-BESCÓS (2014b). A Late Pleistocene (MIS3) ungulate mammal assemblage (Los Rincones, Zaragoza, Spain) in the Eurosi-berian-Mediterranean boundary. *Historical Biology*: 1-32.
- SERRANO, X., y E. CAÑADAS (1995). Geomorfología de la sierra de Tendeñera (Pirineo aragónés). *Ería: Revista cuatrimestral de geografía*, 37: 143-158.
- TORRES, T. (1988). Osos (Mammalia, Carnivora, Ursidae) del Pleistoceno de la península ibérica. *Boletín Geológico y Minero de España*, publicación especial, 99: 3-46.

ESTUDIO GENÉTICO COMPARATIVO DE LAS POBLACIONES DE *SILENE CILIATA* POURR. (CARYOPHYLLACEAE) COMO HERRAMIENTA PARA ESTUDIAR EL CAMBIO GLOBAL

Alfredo GARCÍA-FERNÁNDEZ¹

RESUMEN.— El cambio global es una de las principales amenazas para la biodiversidad a nivel mundial, pero una oportunidad para el estudio de los mecanismos de evolución y adaptación de los organismos ante los cambios. La alta montaña mediterránea, como son los Pirineos, se encuentra entre los ecosistemas más amenazados y su estudio debe ser prioritario debido a la gran cantidad de especies amenazadas y endémicas que alberga. Muchos de estos organismos ya han sobrevivido a cambios climáticos pasados, por lo que su estudio puede arrojar luz sobre el comportamiento futuro de las especies y los mecanismos que desarrollen para adaptarse y evolucionar. Los resultados confirman la existencia de haplotipos únicos y el gran interés en la conservación y la evolución de las poblaciones de *Silene ciliata* en los Pirineos de Huesca.

ABSTRACT.— The Global change is the most important threat to global biodiversity, but an excellent opportunity for researchers to study the mechanisms of evolution and adaptation of the organisms to changing environments. High Mediterranean mountains (e. g. the Pyrenees) are among the most threatened ecosystems, and their study must be prioritized due to the large number of threatened and endemic species that inhabit these mountains. Many of these organisms have survived to past climate changes, so their study may clarify the behavior and the processes developed by the species

Recepción del original: 5-2-2016

¹ Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología. Universidad Rey Juan Carlos. C/ Tulipán, s/n. E-28933 MÓSTOLES. alfredo.garcia@urjc.es

to adapt and evolve. In this study, we proposed the use of plastid DNA markers with the species *Silene ciliata*, an alpine survivor of several glacial-interglacial processes. The results confirm the existence of unique haplotypes and the great interest of the conservation and evolution of *Silene ciliata* populations from the Huesca Pyrenees.

KEY WORDS.— Global change, mountains, *Silene ciliata*, plastid DNA, Huesca Pyrenees.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Sin lugar a dudas, el cambio global es una de las principales preocupaciones de la sociedad y de la comunidad científica. Entendemos por cambio global el conjunto de acciones y procesos que están modificando los ecosistemas y las condiciones del planeta. Entre ellos podemos incluir los cambios del uso del suelo, la polución, el aumento de especies invasoras, pero, sobre todo, el cambio climático (MEA, 2005). La Tierra ha experimentado otras alteraciones climáticas de igual o mayor magnitud en el pasado, si bien este parece ser uno de los procesos más rápidos y el único en el que la actividad humana ha actuado como precursor (entre otros posibles agentes) de dichos cambios (DUARTE, 2006). Hasta la fecha, los impactos sociales y económicos que se generan como consecuencia del cambio global son incalculables, aunque sus consecuencias ya se notan en la vida diaria de las personas (por ejemplo, disminución en las precipitaciones de nieve en las zonas alpinas, aumento de los eventos climáticos extremos como sequías e incendios, presencia de especies invasoras que afectan a los cultivos, etcétera).

Sin embargo, para los científicos, este escenario de cambio global supone una oportunidad única para estudiar el comportamiento de las especies, las alteraciones de los ecosistemas y los cambios que se están produciendo (por ejemplo, existen trabajos desde la década de los sesenta que ya se centran en el estudio del cambio del clima, HARE, 1964) y se han propuesto numerosas estrategias para evaluar su impacto en los diferentes ecosistemas y comunidades. Desde un primer momento, se han elaborado todo tipo de modelos predictivos que intentan estimar (con más o menos acierto) el cambio en las principales variables climáticas (principalmente precipitación y temperatura) y el impacto que conllevaría en los distintos ecosistemas (se pueden consultar en cualquiera de los informes del Panel Intergubernamental de Expertos del Cambio Climático de la ONU, IPCC, 2013).

Tomando como base estos modelos, se han elaborado multitud de estudios posteriores, para alertar sobre las amenazas que se ciernen sobre todo tipo de especies, que verán reducido su hábitat potencial y podrán verse afectadas por el aumento de la distribución potencial de otras especies más competitivas (por señalar alguno de los ejemplos, GARCÍA-VALDÉS y cols., 2015; THUILLER y cols., 2008; THUILLER y cols., 2005). De manera simultánea y asociada, otros estudios han comparado las diferentes respuestas que se están desarrollando en todo tipo de organismos para hacer frente a todos estos cambios, e intentar luchar contra su desaparición (PARMESAN, 2006; SKELLY y cols., 2007; WALTHER, 2010). Las tres reacciones principales más estudiadas en los organismos las podemos englobar en migración (desplazamiento hacia hábitats más adecuados), plasticidad fenotípica (capacidad de generar cambios en un organismo ante una señal ambiental) y adaptación local (respuestas específicas a condiciones locales) a las nuevas condiciones ambientales (ENGLER y cols., 2011; JUMP y PEÑUELAS, 2005). Ninguna de ellas parece más adecuada que las otras y cada especie (o incluso cada población) puede adoptarlas en distintos momentos o de manera combinada.

Frente a esta gran inversión de recursos, talento y esfuerzos que se dedican a diagnosticar el impacto del cambio climático y sus consecuencias en las especies, todavía no se han planteado medidas o acciones concretas para intentar reducir los impactos del cambio climático en las poblaciones naturales de especies, o, sencillamente, favorecer la generación de algunas respuestas que les ayuden a superar las alteraciones que les ocasione el cambio global. Aunque se han elaborado algunos trabajos teóricos o en ambientes controlados (tipo mesocosmos, BELL y GONZÁLEZ, 2009; BERGMANN y cols., 2010; DOBLAS-MIRANDA y cols., 2015; HUFBAUER y cols., 2015), los trabajos en condiciones naturales de campo son inexistentes hasta la fecha.

Sin embargo, desde una visión más conservacionista, y frente a todo tipo de amenazas (no únicamente el cambio global), se han venido realizando actuaciones similares a la hora de intentar recuperar especies / poblaciones que se encontraban en grave riesgo de extinción, de las cuales pueden extraerse algunas importantes conclusiones. Las acciones que se han planteado han tenido como objetivo aumentar los tamaños poblacionales (rescate demográfico, HUFBAUER y cols., 2015), realizar las modificaciones necesarias en los espacios protegidos para albergar el mayor número de



Fig. 1. Ejemplar de *Silene ciliata* en flor en el Mirador de la Reina (Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, Torla).

especies posible cuando las condiciones ambientales cambien (LANGDON y LAWLER, 2015; WIENS y cols., 2011), mejorar las condiciones genéticas (diversidad alélica, reducción de la endogamia, etcétera) de las especies o poblaciones más amenazadas (conocido como *rescate genético*, GARGANO y cols., 2015; WHITELEY y cols., 2015) o favorecer los procesos evolutivos hacia la adaptación de las nuevas condiciones (llamado *rescate evolutivo*, HOFFMANN y SGRO, 2011).

Ante todo esto, cobra especial relevancia estudiar especies que hayan subsistido a anteriores cambios climáticos y se hayan podido adaptar y sobrevivir a cambios similares a los que ahora nos enfrentamos. Entendiendo los mecanismos que han gobernado la supervivencia y adaptación de estas especies podremos elaborar estrategias o acciones para favorecer la conservación y la evolución de las especies amenazadas por el cambio global. Por todo ello, el estudio de especies como *Silene ciliata* Pourr. (Caryophyllaceae), que han sobrevivido a varias épocas glaciales

e interglaciares, cobra especial relevancia. *Silene ciliata* es una pequeña planta perenne endémica de Europa que habita en sistemas montañosos mediterráneos, desde la mitad norte de la península ibérica, pasando por el Macizo Central en Francia y los Apeninos en Italia, hasta la península balcánica (TUTIN y cols., 1995). En la península ibérica se encuentra en áreas montañosas por encima de los 1100 metros (Sistema Central, Sistema Ibérico, Cordillera Cantábrica y Pirineos). Habitualmente forma rosetas pulvulares que, aunque presentan gran variabilidad en cuanto al tamaño, pueden llegar a alcanzar los 2 centímetros de altura y los 15 centímetros de diámetro (fig. 1). En poblaciones naturales, *Silene ciliata* presenta niveles de ploidía muy variables (TUTIN y cols., 1995).

La enorme diversidad fenotípica de la especie puede deberse a esta gran variabilidad en el número de cromosomas, ya que se han descrito desde individuos diploides con 24 cromosomas (GARCÍA-FERNÁNDEZ y cols., 2012a) hasta poliploides que tienen más de un centenar ($2n = 192$, BLACKBURN, 1933).

Nuestra experiencia con *Silene ciliata* es prolongada en el tiempo y nos ha permitido elaborar numerosos trabajos bajo diversas perspectivas (por citar algunos ejemplos de nuestros trabajos: GARCÍA-FERNÁNDEZ, 2011; GIMÉNEZ-BENAVIDES y cols., 2005; LARA-ROMERO y cols., 2014). En nuestro último abordaje, KYRKOU y cols. (2015) elaboramos un estudio biogeográfico de la especie que resaltó la importancia de los Pirineos como un reservorio genético único, debido a la complicada historia de las montañas mediterráneas durante el Cuaternario. Todo ello nos llevó a plantear un nuevo estudio que evaluase la diversidad genética en las poblaciones pirenaicas de esta especie, donde destacan singularmente los Pirineos oscenses, con multitud de citas y poblaciones descritas para *Silene ciliata*. Empleando marcadores de ADN del plasto, planteamos un rastreo de la diversidad genética de la especie y buscamos haplotipos únicos que apoyen la singularidad de la región.

TAREAS REALIZADAS, MATERIALES Y METODOLOGÍA

Para este estudio se han realizado una serie de tareas complementarias para conocer mejor las poblaciones de *Silene ciliata* en el Pirineo oscense y otras localidades limítrofes.

Revisión de herbarios

En una primera aproximación, se optó por revisar pliegos de esta especie procedentes de diferentes herbarios. Se anotaron las principales características de dichos pliegos (coordinadas, localidad de procedencia, altitud, recolector, fecha, etcétera) y se consultó a expertos en flora pirenaica sobre poblaciones accesibles para organizar una campaña de recolección. Esta revisión también sirvió para aconsejar la reevaluación de algunos pliegos mal clasificados como *Silene ciliata*. Un resumen de esta revisión de pliegos aparece en la tabla I. Finalmente, de aquellos pliegos de especial relevancia y bien conservados, se tomaron pequeñas muestras de tejido seco (con la autorización de los conservadores) para los análisis posteriores de ADN. Un resumen de las muestras analizadas y sus características aparece en la tabla II.

Tabla 1. Individuos seleccionados para los análisis de este proyecto, de los cuales se han tomado muestras de tejidos vegetales.

| <i>Herbario</i> | <i>Pliegos revisados</i> |
|--|--------------------------|
| Real Jardín Botánico de Madrid (CSIC) | 16 |
| Sociedad de Ciencias Aranzadi San Sebastián | 16 |
| Institut Botànic de Barcelona (CSIC) | 11 |
| Centro de Biodiversidad Vegetal de Barcelona | 26 |
| Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC) | 48 |
| <i>Total</i> | <i>117</i> |

Recolección en campo

Durante el mes de julio, se realizó una campaña de muestreos de campo (fig. 2), para visitar algunas de las poblaciones de esta especie. Esta expedición nos permitió tomar muestras adicionales a las obtenidas del material procedente de los herbarios (y de mayor calidad, dado que en los procesos de prensado y almacenaje, el ADN se ve irremediamente dañado), así como conocer las poblaciones naturales de la especie en los Pirineos oscenses. Las poblaciones visitadas aparecen en la tabla II y en la figura 3, incluyendo aquellos individuos que están pendientes de indexar en el herbario.



Fig. 2. Recolectando muestras en el collado de Sahún.

Tabla II. Individuos seleccionados para los análisis de este proyecto, de los cuales se han tomado muestras de tejidos vegetales (el símbolo – hace referencia a dato desconocido).

| <i>Localidad</i> | <i>Acrónimo</i> | <i>Provincia</i> | <i>Altitud</i> | <i>Coordenadas</i> | <i>Herbario</i> |
|--|-----------------|------------------|----------------|--------------------|-----------------|
| Monte San Donato | DON | Navarra | 1400 | WN8448 | MA465480 |
| Barranco de la Foya | FOY | Huesca | — | — | MA515225 |
| Alt Urgell, Port del Compte, Prat d'Arderic | URG | Lérida | 1900 | 31TCG77 | MA332711 |
| Legazpi, Katabera | KAT | Guipúzcoa | 1200 | 30TWN5159 | ARAN564115 |
| Ibón del Cau, Bielsa, pastos sobre esquistos | CAU | Huesca | 2325 | 31TBH7726 | ARAN67322 |
| Ansó, Bajo Acherito | ACHE | Huesca | 1850 | 30TXN8749 | ARAN052466 |
| Bielsa, Portillo de Tella | TENA | Huesca | 1900 | 31TBH6921 | ARAN48032 |
| Isaba, subida a Lakarra | LAK | Navarra | 1700 | 30TXN7657 | ARAN18608 |
| Isaba, Ezkaurre hegoaldara | EZK | Navarra | 1900 | 30TXN7646 | ARAN18600 |
| Andorra, La Masana, port de Cabús | AND | Andorra | 2370 | 31TCH71 | ARAN66488 |
| Valle de Llauset, collado de Vallibierna | VALL | Huesca | — | 31TCH01 | ARAN18604 |
| Tarazona, Zaragoza, Moncayo. Circo de Morca, Camino Bellido | MON | Zaragoza | 1684 | 30TWM9892 | BCN31794 |
| Collado de Baciber, Cerler | CER | Huesca | — | 31TCH0214 | J0185289 |
| Collado de Sahún, Chía | SAH | Huesca | 1800 | 31TBH8648 | Pendiente |
| Punta Acuta, Torla | ACU | Huesca | 2100 | 30TYN4060 | Pendiente |
| Ibón del Acherito, Ansó | ACHE2 | Huesca | 1850 | 30TXN8723 | Pendiente |

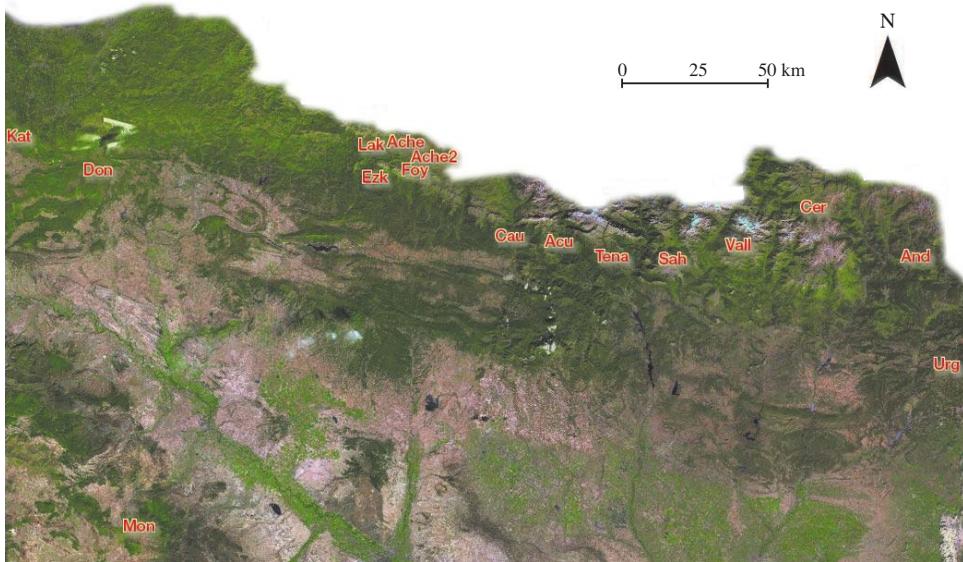


Fig. 3. Mapa de localización de las poblaciones estudiadas.
(La cartografía base procede del PNOA, Instituto Geográfico Nacional)

Métodos analíticos: análisis de laboratorio, extracción de ADN, amplificación y secuenciación

A lo largo del verano de 2015 se realizaron las tareas de laboratorio consistentes en la extracción de ADN de las muestras, la amplificación de tres regiones del ADN del plasto y su secuenciación.

Para la extracción de ADN (fig. 4) se siguió el protocolo estándar del kit de extracción de ADN de la marca comercial Qiagen (CA, EE. UU.), con leves modificaciones para optimizar el proceso de extracción. La extracción se realizó a partir de 20 miligramos de tejido seco en buen estado (sin daños externos, marcas de deshidratación, etcétera). Nuestra experiencia con este kit es prolongada y los resultados son satisfactorios con la mayoría de las especies con las que trabajamos (fig. 3). Todas las extracciones se comprobaron con geles de agarosa al 1% teñidos con Red-Gel (Biotium, CA, EE. UU.).

Para la amplificación del ADN del plasto, se emplearon tres regiones específicas de alta capacidad resolutive: *rbcL*, *rps16* y *trnL*. La primera (*rbcL*) es una región muy conservada (esto es, con poca variación), recomendada para

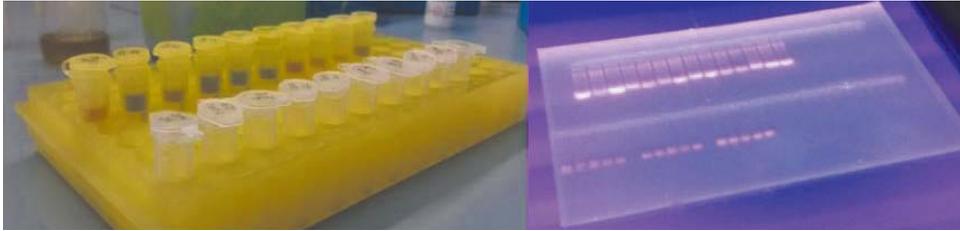


Fig. 4. Proceso de extracción de ADN y gel de comprobación.

las técnicas de *barcodeing* (identificación) de plantas (GARCÍA-FERNÁNDEZ y cols., 2012b; HOLLINGSWORTH y cols., 2009). Las otras dos (*rps16* y *trnL*) presentan mayor variabilidad y pueden encontrarse algunas diferencias entre las poblaciones. Con el uso combinado de las tres regiones esperamos poder confirmar la correcta identificación de las muestras como *Silene ciliata* y evaluar las diferencias entre poblaciones. Las tres regiones han sido usadas con anterioridad en la especie y han permitido realizar con éxito otros estudios con ella (KYRKOU y cols., 2015).

El proceso de amplificación del ADN se realizó mediante reacciones PCR empleando las Pure To Go PCR beads (GE Healthcare, Upsala, Suecia). El protocolo de PCR consiste en un periodo de 4 minutos a 94 °C, seguido por un número variable de ciclos (entre 30 y 35) de 94 °C durante 30 segundos, 50 o 53 °C (en función del éxito de la reacción y la región que se pretenda estudiar) durante 45 segundos y 72 °C durante 45 segundos, para finalizar con un proceso de elongación de 72 °C durante 7 minutos. Todas las reacciones se comprobaron con geles de agarosa al 1%. Para la amplificación de la región *rbcL* empleamos los cebadores *rbcLS1 F* y *R*; para la región *rps16* empleamos los cebadores *rpsF2a* y *rpsR2* y para la región *trnL*, los cebadores *trnLc* y *trnLd*. La secuencia de estos cebadores pueden encontrarse en TABERLET y cols. (1991) o SHAW y cols. (2005, 2007).

Para completar la secuenciación de estas regiones, se realizó una reacción de purificación empleando el reactivo Exostar (Illustra, GE Healthcare, Upsala, Suecia). Posteriormente, se secuenciaron los fragmentos empleando un secuenciador ABI 3730XL (Applied Biosystems, CA, EE. UU.) disponible en la Unidad de Genética de la Universidad Complutense de Madrid.

Alineamiento, evaluación de calidad y análisis de secuencias

Las secuencias se revisaron empleando el programa Sequencher 4.1.4 (Gene Codes Corp, MI, EE. UU.), corrigiendo aquellas posiciones ambiguas o con baja resolución. Posteriormente, se emplearon los programas MAFFT (KATOY y STANDLEY, 2013) y GBlocks (CASTRESANA, 2000) para agrupar todas las secuencias y realizar el alineamiento de ellas. Si bien del empleo de ambos *software* resulta una aproximación muy conservadora (TALAVERA y CASTRESANA, 2007), preferimos que los análisis que se realicen sean lo suficientemente fiables como para sostener nuestras conclusiones.

Para realizar una comparación con otras poblaciones, se añadieron secuencias de las mismas regiones de otras especies o poblaciones (llamadas *outgroups*):

- Dos individuos de *Silene ciliata*, procedentes de poblaciones del Sistema Central: Peña del Águila, Salamanca (acrónimo *Agi*) y Cabezas de Hierro, Parque Nacional del Guadarrama, Madrid (CabH).
- Individuos de *Silene vulgaris*, como especie de amplia distribución del género (acrónimo *Sil_vul*) y *Silene acaulis*, como especie alpina del género (*Sil_aca*).
- Individuos de *Saponaria caespitosa* (acrónimo *Sap*), como especie que cohabita junto con *Silene ciliata* en las poblaciones del Pirineo.

Las secuencias se analizaron con un dendograma de tipo Neighbour Joining empleando el *software* Splitstree 4.1.4 (HUSON y BRYANT, 2006). Para evaluar la significación de las medidas, se realizó un test *bootstrapping* con 1000 réplicas. En los árboles que se muestran a continuación (figs. 5, 6 y 7) solo se muestran aquellos valores que fueron significativos en el test, lo cual significa una probabilidad posterior (PP) superior a 90.

PRINCIPALES RESULTADOS

Los resultados se muestran por regiones analizadas y se comentan cada una de ellas de manera independiente. Las secuencias han sido enviadas al repositorio público GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>), pendientes de obtener los números de referencia correspondientes.

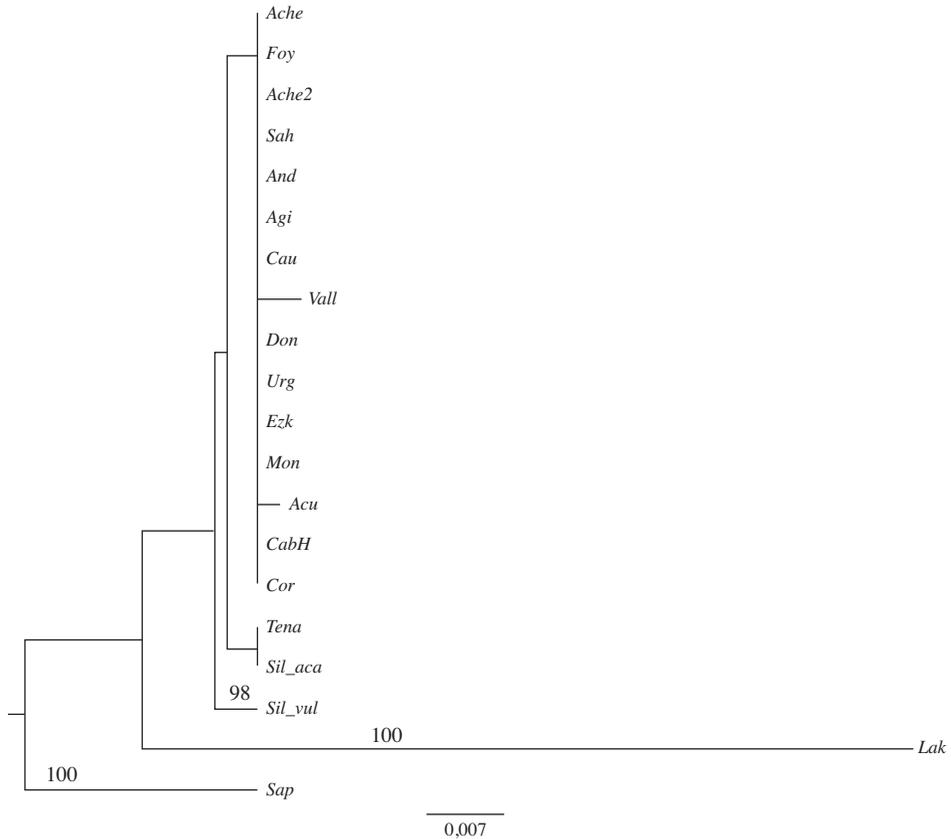


Fig. 5. Dendrograma NJ con la región *rbcL*. Solo se muestran los valores que tras el análisis presentaron una PP mayor de 90.

Región *rbcL*

Todos los individuos amplificaron de manera satisfactoria para esta región. La región tuvo una longitud de 552 pares de bases (fig. 5). Los análisis muestran poca variabilidad entre los individuos, esperable debido a la alta conservación filogenética de esta región. La muestra de *Saponaria caespitosa* queda agrupada fuera del conjunto de individuos del género *Silene*. Queda por destacar las muestras de Lak y Tena, que se agrupan fuera del resto de individuos de la especie *Silene ciliata*. Los individuos Vall y Acu también mostraron algunas diferencias en las secuencias, destacando su singularidad. Los resultados se ofrecen por regiones.

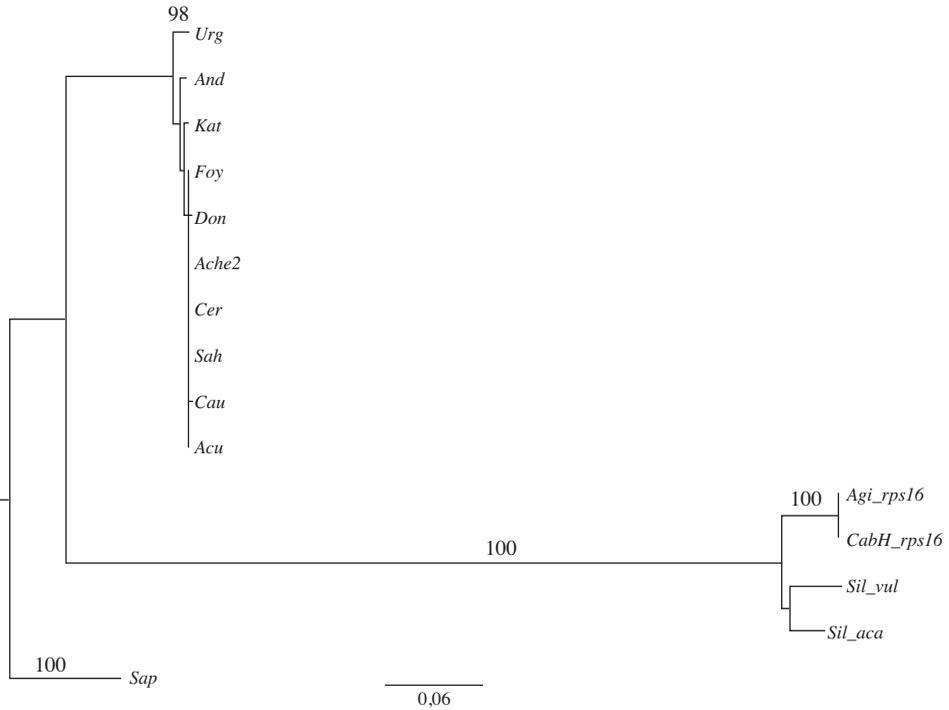


Fig. 6. Dendrograma NJ con la región *rps16*. Solo se muestran los valores que tras el análisis presentaron una PP mayor de 90.

Región *rps16*

Para la región *rps16* solo se obtuvieron secuencias de calidad suficiente para diez individuos (Don, Foy, Urg, Kat, Cau, And, Cer, Sah, Acu y Ache2), así como para los *outgroups* (fig. 6). Después de los procesos de depurado se obtuvo una región de 391 pares de bases. El resultado nos ofrece una gran diferenciación de las muestras estudiadas, no solo de los *outgroups*, sino también de las poblaciones del Sistema Central. En este caso fueron las muestras de Urg y And las que mostraron pequeñas diferencias respecto al resto de individuos del Pirineo.

Región *trnL*

La amplificación de la región *trnL* fue complicada y muchas secuencias fueron erróneas. Apenas contamos con una región de 100 pares de bases y

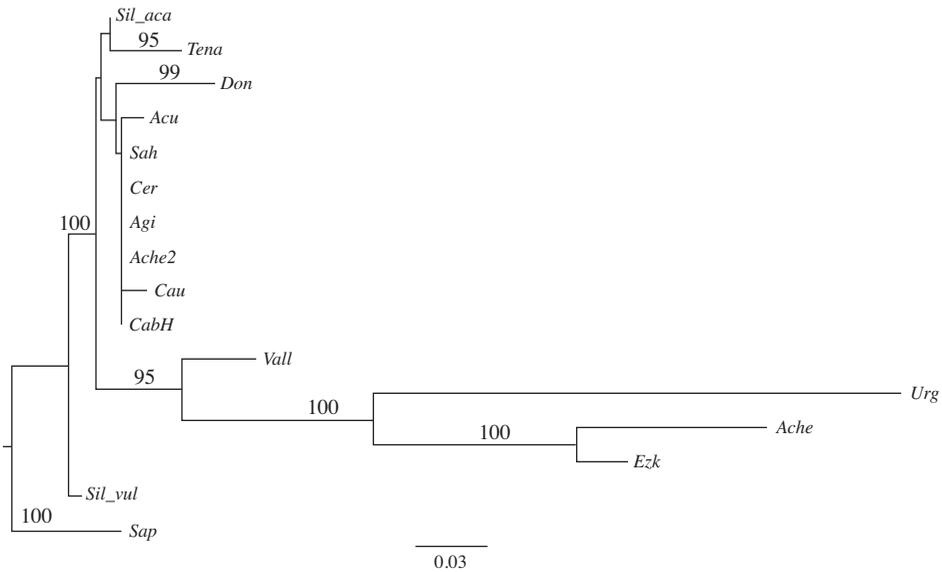


Fig. 7. Dendrograma NJ con la región *trnL*. Solo se muestran los valores que tras el análisis presentaron una PP mayor de 90.

solo pudimos hacer el análisis (fig. 7) con ocho individuos del Pirineo (*Cau*, *Ache*, *Ezk*, *Vall*, *Cer*, *Sah*, *Acu*, *Ache2*). Todo esto nos lleva a plantear que los resultados que se obtengan con esta región deben ser interpretados con mucha cautela. Sin embargo, los resultados del análisis fueron congruentes, separando tanto a *Saponaria caespitosa* como a las otras especies de *Silene*. En este caso, las mayores diferencias fueron en los individuos *Ezk*, *Ache*, *Urg* y *Vall*, y menores en *Don* y *Acu*. Los individuos de otras poblaciones quedaron situados junto con otros individuos del Pirineo. Por otro lado, las secuencias de otras especies del género *Silene* aparecen en distintas partes del dendrograma, lo cual plantea las limitaciones del análisis.

CONCLUSIONES

- Los Pirineos son un reservorio singular de diversidad genética para la especie *Silene ciliata*. Aunque se usen marcadores conservadores de reducida variabilidad, los análisis detallaron haplotipos únicos hasta ahora inéditos. Las poblaciones oscenses de esta especie son esenciales para conocer su historia evolutiva y sus características.

- Esta gran diversidad resalta el papel ya conocido de los Pirineos como refugio de especies y diversidad durante los periodos glaciares-interglaciares para este tipo de especies de montaña, así como una zona de hibridación donde varios linajes han podido coexistir y desarrollarse.
- A la hora de realizar estudios de este tipo, resulta imprescindible efectuar un muestreo exhaustivo y detallado, debido a que a pequeña escala se puede encontrar una importante variabilidad genética. El mantenimiento de los herbarios, del material allí depositado, y la experiencia de los investigadores y los aficionados a la botánica son esenciales para el estudio de estas especies.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con una Ayuda de Investigación del Instituto de Estudios Altoaragoneses en su convocatoria de 2014. El autor agradece los comentarios de Luis Villar (Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC) sobre la flora pirenaica, que han enriquecido este trabajo, así como la colaboración desinteresada de varios alumnos de la Universidad Rey Juan Carlos para el trabajo de campo y laboratorio. Por último, agradecemos al personal del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido y del Instituto Aragonés de Gestión Ambiental los permisos para trabajar en las montañas de Aragón.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELL, G., y A. GONZÁLEZ (2009). Evolutionary rescue can prevent extinction following environmental change. *Ecology Letters*, 12 (9): 942-948.
- BERGMANN, J., S. POMPE, R. OHLEMULLER, M. FREIBERG, S. KLOTZ y I. KUHN (2010). The Iberian Peninsula as a potential source for the plant species pool in Germany under projected climate change. *Plant Ecology*, 207 (2): 191-201.
- BLACKBURN, K. B. (1933). On the relation between geographic races and polyploidy in *Silene ciliata* Pourr. *Genetica*, 15 (1): 49-66.
- CASTRESANA, J. (2000). Selection of conserved blocks from multiple alignments for their use in phylogenetic analysis. *Molecular Biology and Evolution*, 17 (4): 540-552.
- DOBLAS-MIRANDA, E., J. MARTÍNEZ-VILALTA, F. LLORET, A. ÁLVAREZ, A. ÁVILA, F. J. BONET, L. BROTONS, J. CASTRO, J. C. YUSTE, M. DÍAZ, P. FERRANDIS, E. GARCÍA-HURTADO, J. M.^a IRIONDO, T. F. KEENAN, J. LATRON, J. LLUSIA, L. LOEPFE, M. MAYOL, G. MORE,

- D. MOYA, J. PEÑUELAS, X. PONS, R. POYATOS, J. SARDANS, O. SUS, V. R. VALLEJO, J. VAYREDA y J. RETANA (2015). Reassessing global change research priorities in mediterranean terrestrial ecosystems: How far have we come and where do we go from here? *Global Ecology and Biogeography*, 24 (1): 25-43.
- DUARTE, C. M.^a (2006). *Cambio global: impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. CSIC. Madrid.
- ENGLER, R., C. F. RANDIN, W. THUILLER, S. DULLINGER, N. E. ZIMMERMANN, M. B. ARAÚJO, P. B. PEARMAN, G. LE LAY, C. PIEDALLU, C. H. ALBERT, P. CHOLER, G. COLDEA, X. de LAMO, T. DIRNBÖCK, J.-C. GÉGOUT, D. GÓMEZ-GARCÍA, J.-A. GRYTNES, E. HEEGAARD, F. HØISTAD, D. NOGUÉS-BRAVO, S. NORMAND, M. PUSCAS, M.-T. SEBASTIÀ, A. STANISCI, J.-P. THEURILLAT, M. R. TRIVEDI, P. VITTOZ y A. GUISAN (2011). 21st century climate change threatens mountain flora unequally across Europe. *Global Change Biology*, 17 (7): 2330-2341.
- GARCÍA-FERNÁNDEZ, A. (2011). Cambio climático en alta montaña: una perspectiva genética. *Ecosistemas*, 20 (2): 129-132.
- GARCÍA-FERNÁNDEZ, A., J. M.^a IRIONDO, J. VALLÉS, J. ORELLANA y A. ESCUDERO (2012a). Ploidy level and genome size of locally adapted populations of *Silene ciliata* across an altitudinal gradient. *Plant Systematics and Evolution*, 298 (1): 139-146.
- GARCÍA-FERNÁNDEZ, A., J. M.^a IRIONDO y A. ESCUDERO (2012b). Inbreeding at the edge: Does inbreeding depression increase under more stressful conditions? *Oikos*, 121 (9): 1435-1445.
- GARCÍA-VALDÉS, R., N. J. GOTELLI, M. Á. ZAVALA, D. W. PURVES y M. B. ARAÚJO (2015). Effects of climate, species interactions, and dispersal on decadal colonization and extinction rates of Iberian tree species. *Ecological Modelling*, 309: 118-127.
- GARGANO, D., G. PELLEGRINO y L. BERNARDO (2015). Genetic and fitness consequences of interpopulation mating in *Dianthus guliae* Janka: Conservation implications for severely depleted and isolated plant populations. *Conservation Genetics*, 16 (5): 1127-1138.
- GIMÉNEZ-BENAVIDES, L., A. ESCUDERO y F. PÉREZ-GARCÍA (2005). Seed germination of high mountain Mediterranean species: Altitudinal, interpopulation and interannual variability. *Ecological Research*, 20 (4): 433-444.
- HARE, F. K. (1964). Changes of Climate – UNESCO. *Geographical Review*, 54 (3): 455-457.
- HOFFMANN, A. A., y C. M. SGRO (2011). Climate change and evolutionary adaptation. *Nature*, 470 (7335): 479-485.
- HOLLINGSWORTH, P. M., L. L. FORREST, J. L. SPOUGE, M. HAJIBABAEI, S. RATNASINGHAM, M. VAN DER BANK, M. W. CHASE, R. S. COWAN, D. L. ERICKSON, A. J. FAZEKAS, S. W. GRAHAM, K. E. JAMES, K.-J. KIM, W. J. KRESS, H. SCHNEIDER, J. VAN ALPHENSTAHL, S. C. H. BARRETT, C. VAN DEN BERG, D. BOGARIN, K. S. BURGESS, K. M. CAMERON, M. CARINE, J. CHACÓN, A. CLARK, J. J. CLARKSON, F. CONRAD, D. S. DEVEY, C. S. FORD, T. A. J. HEDDERSON, M. L. HOLLINGSWORTH, B. C. HUSBAND, L. J. KELLY, P. R. KESANAKURTI, J. S. KIM, Y.-D. KIM, R. LAHAYE, H.-L. LEE, D. G. LONG, S. MADRIÑÁN,

- O. MAURIN, I. MEUSNIER, S. G. NEWMASER, C.-W. PARK, D. M. PERCY, G. PETERSEN, J. E. RICHARDSON, G. A. SALAZAR, V. SAVOLAINEN, O. SEBERG, M. J. WILKINSON, D.-K. YI y D. P. LITTLE (2009). A DNA barcode for land plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106 (31): 12794-12797.
- HUFBAUER, R. A., M. SZUCS, E. KASYON, C. YOUNGBERG, M. J. KOONTZ, C. RICHARDS, T. TUFF y B. A. MELBOURNE (2015). Three types of rescue can avert extinction in a changing environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112 (33): 10557-10562.
- HUSON, D. H., y D. BRYANT (2006). Application of Phylogenetic Networks in Evolutionary Studies. *Molecular Biology and Evolution*, 23 (2): 254-267.
- IPCC (2013). *Climate change 2013: The physical science basis*. Cambridge UP. Nueva York.
- JUMP, A., y J. PEÑUELAS (2005). Running to stand still: Adaptation and the response of plants to rapid climate change. *Ecology Letters*, 8 (9): 1010-1020.
- KATO, K., y D. M. STANDLEY (2013). MAFFT Multiple Sequence Alignment Software Version 7: Improvements in Performance and Usability. *Molecular Biology and Evolution*, 30 (4): 772-780.
- KYRKOU, I., J. M.^a IRIONDO y A. GARCÍA-FERNÁNDEZ (2015). A glacial survivor of the alpine Mediterranean region: Phylogenetic and phylogeographic insights into *Silene ciliata* Pourr. (Caryophyllaceae). *PeerJ*, 3: e1193.
- LANGDON, J. G. R., y J. J. LAWLER (2015). Assessing the impacts of projected climate change on biodiversity in the protected areas of western North America. *Ecosphere*, 6 (5): 1-14.
- LARA-ROMERO, C., J. J. ROBLEDO-ARNUNCIO, A. GARCÍA-FERNÁNDEZ y J. M.^a IRIONDO (2014). Assessing intraspecific variation in effective dispersal along an altitudinal gradient: A test in two Mediterranean high-mountain plants. *PLoS One*, 9 (1): e87189.
- MILLENNIUM ECOSYSTEMS ASSESSMENT (MEA) (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. Island Press. Washington DC.
- PARMESAN, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37 (1): 637-669.
- SHAW, J., E. B. LICKY, J. T. BECK, S. B. FARMER, W. LIU, J. MILLER, K. C. SIRIPUN, C. T. WINDER, E. E. SCHILLING y R. L. SMALL (2005). The tortoise and the hare II: Relative utility of 21 noncoding chloroplast DNA sequences for phylogenetic analysis. *American Journal of Botany*, 92 (1): 142-166.
- SHAW, J., E. B. LICKY, E. E. SCHILLING y R. L. SMALL (2007). Comparison of whole chloroplast genome sequences to choose noncoding regions for phylogenetic studies in angiosperms: The tortoise and the hare III. *American Journal of Botany*, 94 (3): 275-288.
- SKELLY, D. K., L. N. JOSEPH, H. P. POSSINGHAM, L. K. FREIDENBURG, T. J. FARRUGIA, M. T. KINNISON y A. P. HENDRY (2007). Evolutionary responses to climate change. *Conservation Biology*, 21 (5): 1353-1355.

- TABERLET, P., L. GIELLY, G. PAUTOU y J. BOUVET (1991). Universal primers for amplification of three non-coding regions of chloroplast DNA. *Plant Molecular Biology*, 17 (5): 1105-1109.
- TALAVERA, G., y J. CASTRESANA (2007). Improvement of phylogenies after removing divergent and ambiguously aligned blocks from protein sequence alignments. *Systematic Biology*, 56 (4): 564-577.
- THUILLER, W., C. ALBERT, M. B. ARAÚJO, P. M. BERRY, M. CABEZA, A. GUISAN, T. HICKLER, G. F. MIDGLEY, J. PATERSON, F. M. SCHURR, M. T. SYKES y N. E. ZIMMERMANN (2008). Predicting global change impacts on plant species' distributions: Future challenges. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 9 (3-4): 137-152.
- THUILLER, W., S. LAVOREL, M. B. ARAÚJO, M. T. SYKES y I. C. PRENTICE (2005). Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102 (23): 8245-8250.
- TUTIN, T. G., V. H. HEYWOOD, N. A. BURGESS, D. H. VALENTINE, S. M. WALTERS y D. A. WEBB (1995). *Flora Europaea*. Cambridge UP. Cambridge. 629 pp.
- WALTHER, G. R. (2010). Community and ecosystem responses to recent climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365 (1549): 2019-2024.
- WHITELEY, A. R., S. W. FITZPATRICK, W. C. FUNK y D. A. TALLMON (2015). Genetic rescue to the rescue. *Trends in Ecology & Evolution*, 30 (1): 42-49.
- WIENS, J. A., N. E. SEAVY y D. JONGSOMJIT (2011). Protected areas in climate space: What will the future bring? *Biological Conservation*, 144 (8): 2119-2125.

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 17 (2015)

PREFACIO

¿Por qué es importante investigar en botánica?, por Pilar CATALÁN

ARTÍCULOS

Caracterización hidroquímica de aguas en la hoya de Huesca, por Raquel ZUFIAURRE, Lourdes TRABA y José Antonio CUCHÍ

Estudio arqueométrico de mármoles procedentes del teatro romano de Huesca, por Hernando ROYO, Francisco Javier RUIZ, José Luis CEBOLLA, José Antonio CUCHÍ y Pilar LAPUENTE

Flora vascular de la alberca de Loreto (Huesca), por Joaquín ASCASO y Javier YERA

El Sobrepuerto, un espacio estratégico para la ganadería de montaña en la provincia de Huesca, por Javier SARDAÑA y Ramón REINÉ

Joaquín Ximénez de Embún y Oseñalde y Florentino Azpeitia Florén: dos aragoneses en el origen del Plan General de Repoblación Forestal de España de 1939, por Ignacio PÉREZ-SOBA y Jesús PEMÁN

Posibles efectos de la erupción de Laki (Islandia) en 1783-1784 sobre el Alto Aragón, por José Antonio CUCHÍ

Estudio poblacional y biométrico del tritón pirenaico en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, por Víctor Julián PIRACÉS, Rocío LÓPEZ-FLORES y Ernesto PÉREZ-COLLAZOS

La avalancha del 25 de abril de 2015 en Lantang (Nepal), por Fernando RIVERO y José Antonio CUCHÍ

Aceite de oliva virgen, el alimento con propiedades farmacológicas preventivas de la aterosclerosis, por Joaquín Carlos SURRA, María Ángeles NAVARRO, María Victoria MARTÍNEZ y Jesús OSADA

Bucardos y osos fósiles del Pirineo: recuperación de restos paleontológicos, catalogación y datación de los yacimientos del Pleistoceno-Holoceno de las cavidades del Pirineo oscense, por Víctor SAUQUÉ, Raquel RABAL-GARCÉS, Ricardo GARCÍA-GONZÁLEZ y Mario GISBERT

Estudio genético comparativo de las poblaciones de *Silene ciliata* Pourr. (Caryophyllaceae) como herramienta para estudiar el cambio global, por Alfredo GARCÍA-FERNÁNDEZ



**INSTITUTO DE ESTUDIOS
ALTOARAGONESES**

Diputación de Huesca