



LUCAS MALLADA

14

REVISTA DE CIENCIAS

**LUCAS
MALLADA**

LUCAS MALLADA

REVISTA DE CIENCIAS

14

HUESCA, 2012



**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, Cristóbal CASTÁN PUEYO, Pilar CATALÁN RODRÍGUEZ, Ángel CRESPO YAGÜE, Belén DIEZMA IGLESIAS, Santiago FÁBREGAS REYGOSA, Francisco Javier GARCÍA RAMOS, José GÓMEZ PORTER, Juan Manuel LANTERO NAVARRO, Emilio LEO FERRANDO, José M.^a MAÑAS PASCUAL, Clara MARTÍ DALMAU, Jesús MONREAL PUEYO, Luis MONTANO GELLA, Antonio NAVAL MAS, José María NICOLAU IBARRA, José M.^a PALACÍN LATORRE, César PEDROCCHI RENAULT, 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

Depósito legal: HU-151/2000

Imprime: Gráficas Alós. Huesca

ÍNDICE

ARTÍCULOS

Endokarst y glaciario en el valle del Irués (macizo de Cotiella, Pirineo oscense): evolución paleoambiental durante el Cuaternario, por Ánchel BELMONTE y Carlos SANCHO	9
El partidur de Arascués: una obra hidráulica singular de la Huesca del siglo XVII, por José Antonio CUCHÍ y Raúl ANDRÉS	31
La cueva de la Artica (Belsué, Huesca), por José Antonio CUCHÍ y cols.	41
La temporada de aludes 2009-2010 en el Alto Aragón, por Rocío HURTADO y cols.	55
Análisis fenético de los tomillos (género <i>Thymus</i> L., Labiatae) del Mediterráneo occidental, por Luis Ángel INDA	69
Estudio de las condiciones climatológicas como factor de variación en los resultados reproductivos de la inseminación artificial ovina en Aragón, por Inmaculada PALACÍN y cols.	93
Estudio de procesos de mezcla de magmas con transferencia cristalina en el plutón granítico de La Maladeta (Huesca): modelización cuantitativa, por Teresa UBIDE y cols.	109
Documentación geométrica de los restos arqueológicos hallados en el solar del Círculo Católico (Huesca), por Paula URIBE y cols.	143

NOTAS

Nota sobre la presencia de espeleotemas de yeso en el sistema espeleológico de Lecherines (Boráu y Villanúa, Huesca), por José Antonio CUCHÍ y cols. . .	171
---	-----

Nota sobre la presencia de <i>moonmilk</i> en una cavidad del valle de Hecho (Huesca), por José Antonio CUCHÍ y cols.	181
Nota sobre ventifactos en la cuenca baja del río Alcanadre (Sariñena, Huesca), por José Antonio CUCHÍ y cols.	187
Nota sobre mineralizaciones en Monzorrobal (Ayerbe, Huesca), por Thomas GILLOT y cols.	193
Nota de datos complementarios sobre la distribución de la lagartija roquera, <i>Podar- cis muralis</i> (Laurenti, 1768) en el Alto Aragón, por Francisco J. SERRANO . . .	201

ARTÍCULOS

ENDOKARST Y GLACIARISMO EN EL VALLE DEL IRUÉS (MACIZO DE COTIELLA, PIRINEO OSCENSE): EVOLUCIÓN PALEOAMBIENTAL DURANTE EL CUATERNARIO

Ánchel BELMONTE^{1,2}
Carlos SANCHO¹

RESUMEN.— En el valle del Irués, situado al oeste del macizo de Cotiella, se encuentran interesantes depósitos cuaternarios de origen glacial además de registros sedimentarios endokársticos. El estudio detallado de dos de sus cavidades (Lasgüeriz y Pot au Feu), la datación de varios espeleotemas y la interpretación de sus morfologías de manera conjunta con las glaciaciones del exterior permiten establecer un marco cronológico de la evolución del relieve en este sector del macizo. Las dos cavidades, especialmente Lasgüeriz, tienen un origen antiguo, con circulación vadosa ya en el MIS 12. Las fases constructivas (MIS 10-11, MIS 7, MIS 5 y MIS 1) se alternan con las etapas frías, representadas por distintos *tills* pertenecientes a las glaciaciones Sabiñánigo (MIS 6) y Salinas (MIS 4).

ABSTRACT.— Irués valley, located in the western part of Cotiella massif, hosts interesting quaternary morphosedimentary records including glacial deposits as well as endokarstic sediments. Detailed studies of two caves (Lasgüeriz and Pot au Feu), the dating of several speleothems and the interpretation of their morphologies combined with the valley's glacial features; let us provide a chronological frame for the relief evolution of the area. Both caves, specially Lasgüeriz, have a quite old origin, with vadose circulation already in MIS 12. Constructive phases (MIS 10-11, MIS 7, MIS 5 and MIS

¹ Departamento de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza. Pedro Cerbuna, 12. E-50009 ZARAGOZA. anchelbr@unizar.es, csancho@unizar.es

² Asociación Científico Espeleológica Cotiella. Plaza Mayor, 1. E-22367 PLAN (Huesca).

1) alternate with colder stages, represented by different tills belonging to Sabinánigo (MIS 6) and Salinas (MIS 4) phases.

KEY WORDS.— Endokarst, glacial features, Quaternary, Cotiella massif, Pyrenees.

INTRODUCCIÓN

El paisaje del Pirineo es el resultado de la actuación de procesos morfo-genéticos muy variados (PEÑA, 1995). Las alternancias entre fases climáticas frías y cálidas que se han registrado durante el Cuaternario en el Pirineo (LEWIS y cols., 2009; MORENO y cols., 2013) han condicionado la preponderancia de la morfogénesis glacial y kárstica, respectivamente, en los altos macizos calcáreos del centro de la cordillera.

Los espeleotemas se forman preferentemente bajo condiciones templadas y húmedas (FORD y WILLIAMS, 2007). La facilidad para su datación que ofrece el método del U / Th (DORALE y cols., 2004) permite identificar etapas con las mencionadas condiciones climáticas. Por otro lado, los hiatos dentro de un espeleotema, o la detección de periodos de tiempo con ausencia de precipitación, indican etapas frías y de reducida disponibilidad hídrica.

Los sedimentos glaciares distribuidos por la cordillera han permitido definir la extensión de distintas fases glaciares (GARCÍA RUIZ y MARTÍ BONO, 1994; CHUECA y cols., 1998). Además, la introducción de técnicas de datación como la luminiscencia ópticamente estimulada (OSL) ha hecho posible asignar un marco cronológico a varias de esas fases (SANCHO y cols., 2003; PEÑA y cols., 2003; LEWIS y cols., 2009; GARCÍA RUIZ y cols., 2012).

El uso conjunto de marcadores de etapas frías y cálidas permite, pues, reconstruir la evolución del relieve, especialmente en aquellas zonas donde los procesos glaciares y kársticos han actuado. Es el caso del macizo de Cotiella, en el que coexisten morfologías de ambos tipos (BELMONTE RIBAS, 2001). El estudio se ha centrado en el valle del Irués, donde se ubican interesantes formas erosivas y deposicionales de origen glacial junto con varias cavidades endokársticas como la Esplugu Alta de Lasgüeriz (anteriormente conocida como 5 de Agosto) y la cavidad Pot au Feu. En el presente artículo se presenta una descripción de morfologías kársticas y glaciares del Irués, ordenadas en el tiempo gracias a los datos cronológicos de once

espeleotemas de ambas cuevas y con referencia a las fases frías datadas en el conjunto del Pirineo y ámbito mediterráneo.

SITUACIÓN GENERAL

Situación geográfica

El valle del Irués, en el sector occidental del macizo de Cotiella, se ubica en la comarca de Sobrarbe (provincia de Huesca), dentro del Pirineo central (fig. 1). El río Irués es afluente del Cinca por su margen izquierda, aguas abajo del Paso de las Debotas y junto a las localidades de Lafortunada y Badaín.

El valle queda enmarcado al norte por la Peña Lierga (2267 metros) y el collado de Santa Isabel (1528 metros), al noreste por el pico de Mobisón Gran (2603 metros) y la Punta de Lacués (2286 metros), y al este por la Punta Pegolera (2252 metros), y su fondo se sitúa a 780 metros.

El clima en el conjunto del macizo es continental perimediterráneo (IZARD y cols., 1984). En la tabla I se exponen algunos datos de precipitaciones y temperaturas en localidades próximas al valle del Irués.

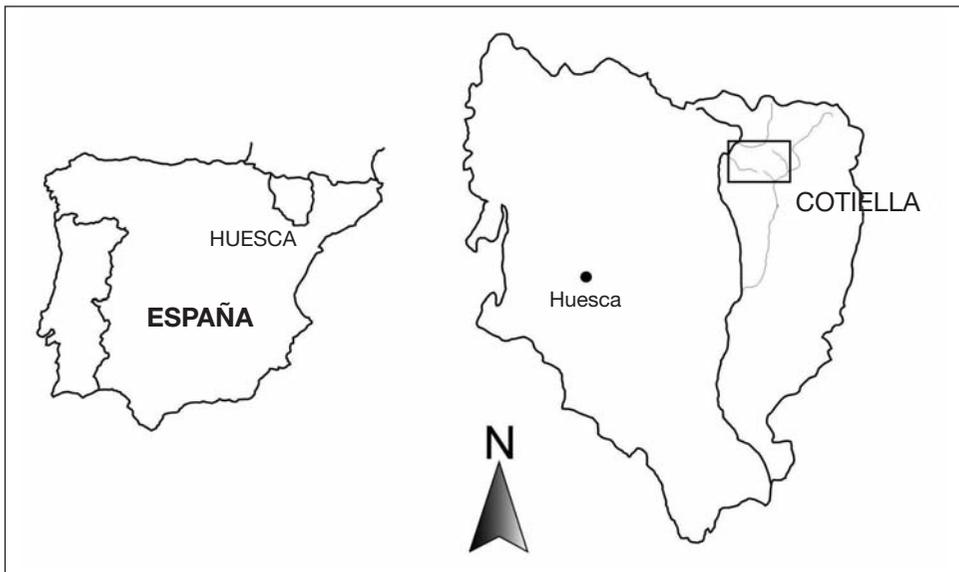


Fig. 1. Situación geográfica de la zona de estudio.

Tabla 1. Datos meteorológicos de algunas localidades próximas a la zona de estudio.

	<i>Temperatura media anual (°C)</i>	<i>Precipitación media anual (mm)</i>
Plan d'Escún (1100 m)	8,9	1413
Salinas de Sin (760 m)	10,4	1284

Dado lo abrupto del relieve y la variedad de condiciones topoclimáticas que se presentan, resulta difícil caracterizar con detalle el clima en las zonas altas del macizo. Para las precipitaciones, estudios realizados por DEL VALLE (1997) en las cuencas altas del Ara, Cinca y Cinqueta permiten estimar un gradiente de 30,1 milímetros / 100 metros, lo que implica unas precipitaciones en el entorno de Lasgüeriz de 1580 y 1760 milímetros en la zona epikárstica correspondiente, a más de 2200 metros de altitud.

Para las temperaturas, y a partir de datos de observatorios y propios, hemos calculado un gradiente de 0,44 °C / 100 metros. Eso cifra una temperatura media anual de 6,6 °C en el entorno de la cueva y de algo menos de 4 °C en el área epikárstica.

Situación geológica

El macizo de Cotiella se sitúa en el extremo noroccidental de la Unidad Surpirenaica Central (SÉGURET, 1972) (fig. 2) y es parte del gran manto de corrimiento del mismo nombre.

La zona de estudio presenta dos unidades diferenciadas. Por un lado, bajo la superficie del manto de Cotiella, materiales autóctonos terciarios compuestos por margas y margas calcáreas de edad paleocena y eocena, respectivamente, que afloran en la parte baja del valle del Irués.

Sobre la superficie del manto se ubica un importante espesor de calizas de la formación Baziero, del Santoniense inferior, y que se engloban en la lámina cabalgante de Cullubert (MARTÍNEZ PEÑA, 1991), constituyendo los relieves montañosos que flanquean el valle.

Geomorfológicamente predominan los modelados glaciario, kárstico, periglaciario y torrencial, superpuestos a una base marcadamente estructural (fig. 3). Existen hasta cuatro artesas desigualmente desarrolladas en el valle principal y sus afluentes, con varios complejos sedimentarios glaciares y fluvio-glaciares proximales. En la zona media del valle se encuentra el barranco

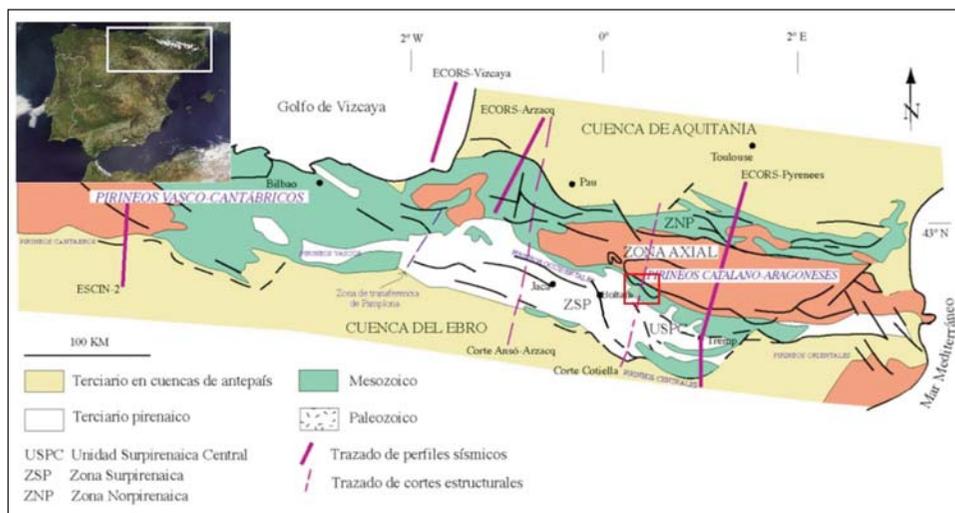


Fig. 2. Situación geológica del macizo de Cotiella en el orógeno pirenaico.

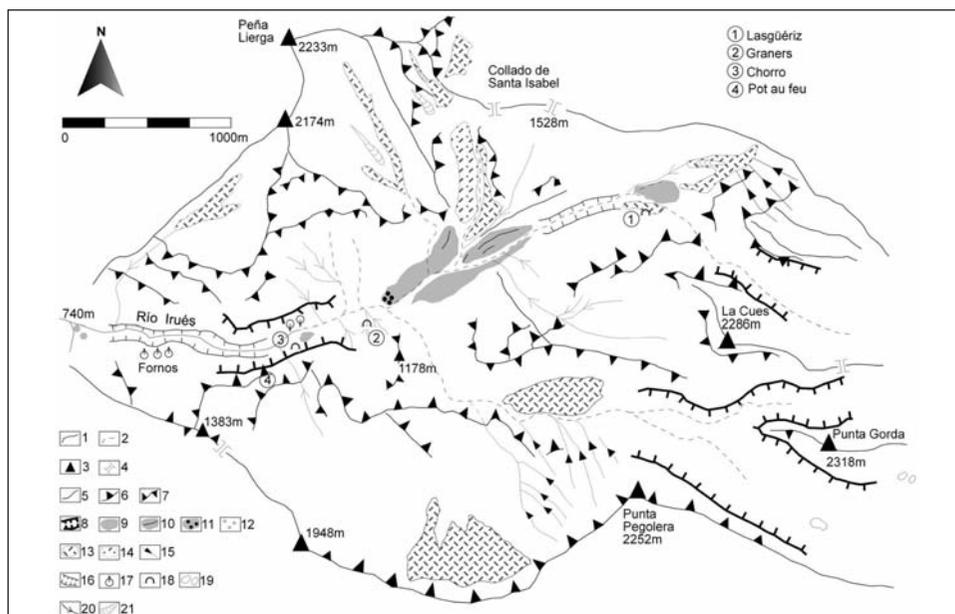


Fig. 3. Mapa geomorfológico del valle del Irués: 1. Curso de agua permanente. 2. Curso de agua discontinuo. 3. Pico. 4. Collado. 5. Divisoria. 6. Escarpe. 7. Cresta. 8. Artesa. 9. Till. 10. Morrena. 11. Sedimentos fluvio-glaciares. 12. Bloques erráticos. 13. Canchal. 14. Derrubio estratificado. 15. Canal de aludes funcional. 16. Barranco fluvio-kárstico. 17. Surgencia. 18. Cueva. 19. Dolinas. 20. Arroyada concentrada. 21. Debris flow.

fluviokárstico de las gargantas del Irués, así como el importante sistema de surgencias de Fornos, que drenan actualmente una gran parte del endokarst de Cotiella y que se conectan con el Chorro y Graners, actuando estos a modo de *trop-plein* en caso de caudales elevados. Las laderas alojan numerosas canales con incisiones lineales y frecuentes *debris flows* canalizados. Además, se reconocen depósitos fósiles de origen periglacial, tanto estratificados como simples canchales que suelen estar afectados por coladas de derrubios de gran recorrido (BELMONTE RIBAS, 2001).

MORFOLOGÍA GLACIAR DEL VALLE DEL IRUÉS

El macizo de Cotiella ha sido durante las fases frías del Cuaternario un importante foco de actividad glaciar. La labor morfogenética de sus aparatos glaciares se sumó a la de la vecina lengua glaciar del Cinqueta, una de las más importantes del Pirineo meridional.

En el entorno de la zona de Lasgüeriz se encuentran numerosas evidencias erosivas y deposicionales de una intensa actividad glaciar que, aun a falta de dataciones absolutas, podemos calificar de polifásica (fig. 3).

El área fuente de hielo más cercana era el gran circo polilobulado de Es Leners o Entremón (fig. 4).

Desde esta zona se evacuaba el hielo hacia el valle del Irués mediante dos artesas que salvaban el inmenso escalón estructural que comunica el replano de altura con el bajo fondo del valle. Son las artesas de Gradiello y Azitolar. Una tercera artesa se ubica sobre el actual barranco fluviokárstico del Irués y es bien visible desde el collado de Santa Isabel.

Además de estas formas erosivas, la lengua de Gradiello ha formado varios depósitos *tillíticos* de interés. En su margen derecha, y cerca del fondo del valle, se localizan dos cordones morrénicos laterales y un gran depósito que consta de dos partes. La primera es un *till* de ablación que alterna en sección vertical con depósitos de características glaciolacustres, relacionados con la fusión de lentejones de hielo muy próximos a la terminación del glaciar. Lateralmente y a techo del depósito va pasando a ritmitas glaciolacustres con eventuales pasadas de gravas y arenas con *ripples*. Algo más abajo hay un gran depósito fluvioglaciar proximal cercano al punto donde desemboca el barranco de Azitolar en el cauce del Irués.

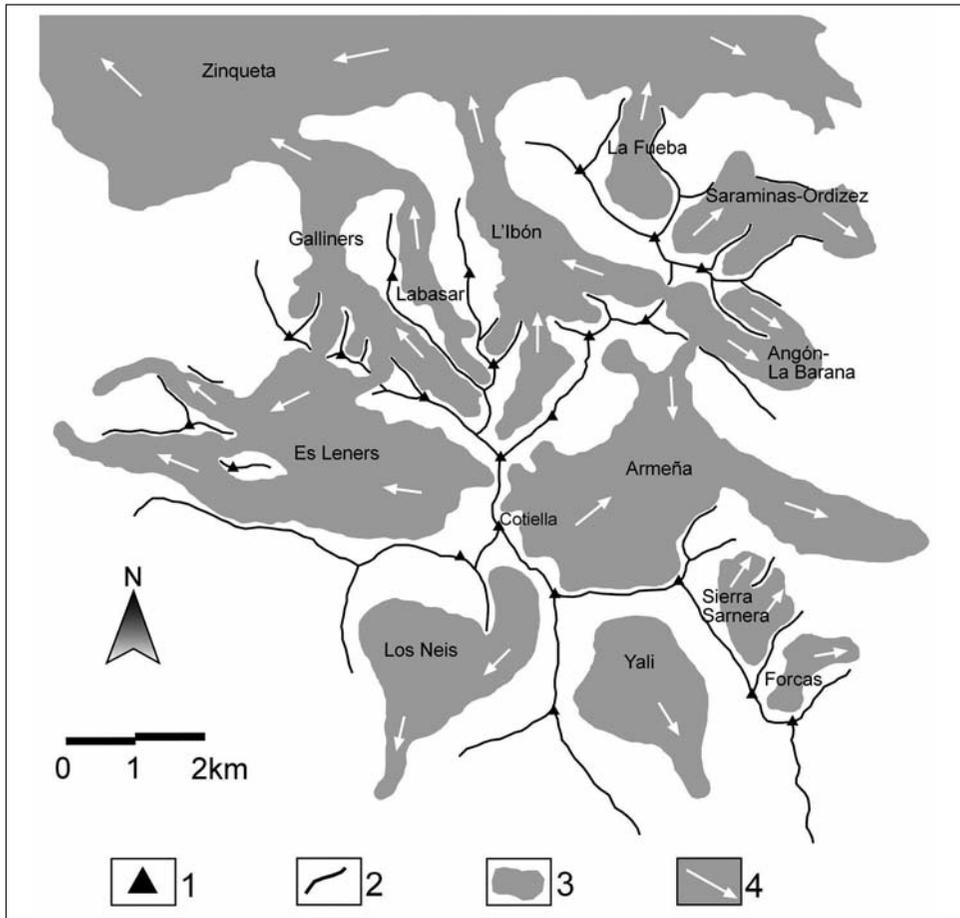


Fig. 4. Extensión del glaciario en el macizo de Cotiella durante el último máximo glacial pirenaico (fase Salinas, MIS 4) (BELMONTE RIBAS, 2003): 1. Cumbres principales. 2. Divisoria. 3. Glaciares. 4. Dirección del flujo de hielo.

En el área próxima al Chorro de Fornos existe un retazo de morrena adosado a la margen izquierda del valle, situado a 1 kilómetro del conjunto anteriormente descrito. Debido a la proporción de finos podemos clasificarlo como un *till* subglaciar.

Por último, sobre un espolón rocoso que domina la desembocadura de la Garona Os Molinos, en el Irués (área del vado del Irués), existe un depósito de grandes bloques calcáreos que interpretamos como bloques erráticos.

El examen de los diferentes depósitos torrenciales que se encuentran a lo largo del valle del Irués, especialmente en su tramo medio y alto, ha mostrado un elevado número de cantos de granito y de litologías metamórficas procedentes de la cabecera del valle de Chistau, que se engloba dentro de la zona axial pirenaica.

Este hecho indica que la lengua glaciaria del Cinqueta rebasó el collado de Santa Isabel, convertido en un collado de difluencia, emitiendo un lóbulo hacia el Irués que confluyó con seguridad con los hielos autóctonos que descendían del circo del Entremón.

CAVIDADES DEL VALLE DEL IRUÉS

Si bien en este valle se han localizado y explorado diversas cavidades, dos han sido objeto de estudios geológicos más detallados, incluyendo dataciones de espeleotemas: la Espluga Alta de Lasgüeriz y la cavidad Pot au Feu (fig. 3).

Características generales de la Espluga Alta de Lasgüeriz

La Espluga Alta de Lasgüeriz se ubica a 1664 metros de altitud. Sobre la cavidad el espesor máximo de calizas es de 600 metros (Punta de Lacués, 2286 metros) (fig. 5). En la zona más alta, sobre las calizas, hay una débil cubierta de suelo con prado de alta montaña. El cantil que comunica la zona culminante con la entrada de la cueva se escalona en distintas fajas con pequeños bosques de pino negro.



Fig. 5. Situación de la Espluga Alta de Lasgüeriz, en el macizo de Cotiella.

La zona epikárstica está ubicada sobre una extensa superficie de origen estructural. Se trata del rellano de bloque superior de la lámina de Cullubert. Además, durante las fases glaciares frías del Cuaternario, el Entremón funcionó como una enorme zona de acumulación de hielo que se evacuaba por dos artesas. La actividad glaciaria es la única responsable de la poco marcada red de drenaje que se observa en dicha zona.

La infiltración del agua aprovecha las numerosas dolinas, zanjones y entradas a cavidades, que tras las campañas de investigación de 2013 han alcanzado los 975 metros de profundidad en la sima del Sabbat (Ramón Queraltó, comunicación personal).

La cavidad de Lasgüeriz tiene una longitud de 941 metros y su desnivel es de 50 metros (fig. 6). Morfológicamente se trata de una *watertable cave* (según la clasificación de FORD y WILLIAMS, 2007). Está excavada en las calizas con nódulos de sílex de la formación Baziero (Santoniense).

En general, la cueva es un gran tubo freático que presenta en numerosos tramos una incisión vadosa de dimensiones métricas, con una alta variedad de secciones (fig. 6) y sin salas de importancia. La galería principal oscila entre los 4 y los 8 metros de anchura, con una altura máxima de 6, mientras que las incisiones vasosas, a menudo meandriformes, poseen una profundidad en torno a los 2 metros, con una anchura de entre 1 y 2 metros.

A partir del conducto principal se localizan cuatro derivaciones. Hay dos pozos verticales de 32 y 40 metros que carecen de continuidad y tres pequeñas galerías de débil pendiente y escaso recorrido de las que la más próxima a la boca finaliza en un lago estacional.

En términos generales, la Espluga Alta de Lasgüeriz es una cueva de escasa ornamentación, rasgo común al conjunto de las cavidades de Cotiella. Sin embargo, y aunque en pequeña cantidad, sí puede encontrarse cierta variedad de depósitos tanto detríticos (autóctonos y alóctonos) como químicos.

El principal grupo de espeleotemas son los compuestos por calcita (CaCO_3). Los más abundantes son las estalactitas, a menudo distribuidas por el techo de las galerías siguiendo el trazado de diversas fracturas. En determinados sectores de la cueva, más húmedos, existen macarrones que presentan un débil goteo y que, por tanto, son activos en la actualidad.

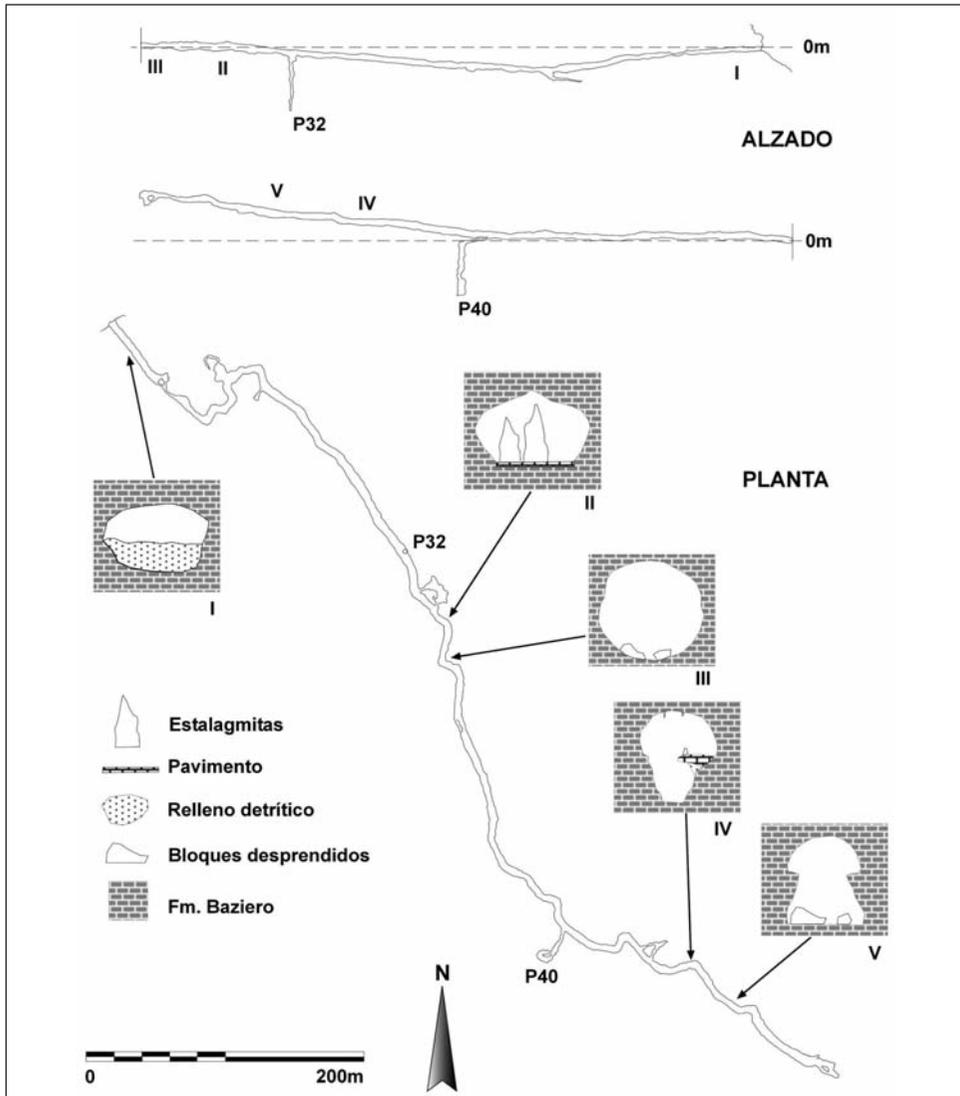


Fig. 6. Planta y alzado de la Espluga Alta de Lasgüeriz (fuente: Carles Pons, ACEC).
Sobre la planta se han situado diversas secciones del conducto principal.

Las estalagmitas, sin embargo, presentan una variedad morfológica mucho mayor. Los tamaños oscilan entre una decena de centímetros y los casi 4 metros de la más alta, cuyo diámetro basal está próximo a 1 metro. Esta se encuentra junto a otra próxima a los 3 metros de altura. Las dimensiones de

estas estalagmitas no guardan ninguna proporción de tamaño con el resto de espeleotemas de la cueva. Su estructura en *pastel* indica un origen polifásico de las mismas.

Es frecuente que las estalagmitas de la cavidad no posean un perfil continuo, sino con estrangulamientos y abombamientos. Este rasgo se pone en relación con cambios ambientales en las condiciones de formación (JENNINGS, 1981).

En muchas zonas de la cueva, el suelo está constituido por un pavimento calcáreo cuyo espesor medio es de unos 40 centímetros. Con frecuencia presenta agrietamientos y colapsos. En algunos sectores casi ha desaparecido por completo, restan fragmentos adosados a las paredes de la galería principal e incluso un puente de roca. Como se comentará más adelante, la situación de este pavimento ayuda a ordenar estratigráficamente los distintos depósitos que se encuentran en la cavidad.

Un segundo conjunto de espeleotemas está formado por yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), restringido al sector central de la galería principal y con una menor variedad morfológica que los de calcita. Aparecen rellenando fisuras, formando costras que tapizan las paredes, como concreciones amorfas y en flores de tamaño centimétrico.

Los depósitos detríticos, tanto autóctonos como alóctonos, son abundantes en muchos sectores de la cavidad. Existe una gran cantidad de depósitos autóctonos debidos a desprendimientos del techo y las paredes de la cueva. Sus depósitos, variados en extensión y tamaño de los clastos, se encuentran por casi toda la cavidad.

Un segundo tipo de depósitos autóctonos son los originados por los cursos fluviales que han discurrido al finalizar la etapa freática. Cuantitativamente son menos importantes que los anteriores y constituyen el testigo del relleno sedimentario que llegó a ocupar la casi totalidad de la incisión vadosa en numerosos puntos de la cueva, cuya posterior erosión generó un vacío que provocó el colapso del pavimento suprayacente. Normalmente son depósitos de cantos angulosos empastados en una matriz arenosa-arcillosa. Hay que destacar un gran depósito de gravas de procedencia tanto local como externa a la cavidad y en el que abundan los cantos de sílex, más resistentes que los de la caliza autóctona. Dicho depósito colmata un gran

sumidero lateral por el que drenó en algún momento la Espluga Alta de Lasgüeriz. Entre todos los cantos que se observan hemos encontrado uno de granito, con un recubrimiento parcial de calcita, de gran interés a la hora de plantear consideraciones paleoambientales.

Características generales de la cavidad Pot au Feu

Situada a 997 metros de altitud, se trata de una cueva aún en proceso de exploración y topografía. Se desarrolla en el núcleo del anticlinal de Baquerizal, en una zona fuertemente tectonizada donde alternan escamas de calizas y margas cretácicas y calizas terciarias, próximas a la base del manto de Cotiella. En el exterior de la cavidad se observa un relieve escalonado de origen estructural. La vertical de la cavidad está constituida por los llanos de Napinals, a 1550 metros de altitud, cubiertos por prado y bosques de pino negro.

Se encuentra sobre el nivel activo del sistema de drenaje del macizo de Cotiella, formado por las surgencias de Fornos y los *trop-pleins* del Chorro y Graners. El interior del Pot au Feu presenta una sucesión de *loops* donde se alternan tubos de circulación forzada de distintos diámetros, ascendentes y descendentes, con cortos tramos horizontales y salas de pequeño tamaño. Algunas de estas salas están muy ornamentadas, con estalagmitas de hasta 1,5 metros de altura y 25 centímetros de diámetro. La ausencia de sedimentos detríticos es casi general, a excepción de algunos niveles de finos de tipo *slack-water*. La preservación de numerosas estalactitas excéntricas en salas de cotas bajas indica que la cavidad ya no se inunda.

Daticiones

Un total de once espeleotemas fueron muestreados en ambas cavidades entre los años 2006 y 2008 bajo los criterios de máxima representatividad morfosedimentaria y mínimo impacto en las cavidades. Siete espeleotemas pertenecen a Lasgüeriz y cuatro a Pot au Feu. Todos ellos se dataron mediante el método del U-Th (MORENO y cols., 2013): sus edades se obtuvieron en la Universidad de Minnesota (tabla II), siguiendo la metodología de CHENG y cols. (2009) mediante un ICP-MS (Thermo-Finnegan ELEMENT) o MC-ICP-MS (Thermo-Finnegan Neptune), y en la Universidad de Melbourne (tabla III).

Tabla II. Dataciones de U-Th realizadas en la Universidad de Minnesota.

<i>Cave</i>	<i>Sample ID</i>	^{238}U <i>ppb</i>	^{232}Th <i>ppt</i>	$\delta^{234}\text{U}$ <i>measured^a</i>	$[\text{}^{230}\text{Th} / \text{}^{238}\text{U}]$ <i>activity^c</i>
Espluga Lasgüeriz	EL-13 base	446 ± 1	7047 ± 32	43.4 ± 2.7	1.04294 ± 0.00704
Espluga Lasgüeriz	EL-1 base	1980.6 ± 11.0	129 ± 4	348.3 ± 5.0	1.42922 ± 0.00988
Espluga Lasgüeriz	EL-1 top	972 ± 11	525 ± 5	380.9 ± 12.2	1.47386 ± 0.01809
Espluga Lasgüeriz	EL-10 base	240 ± 2	1637 ± 12	1065.9 ± 15.7	0.14762 ± 0.00459
Espluga Lasgüeriz	EL-10 top	328.0 ± 2.5	84 ± 4	1272.0 ± 15.4	0.03990 ± 0.00116
Espluga Lasgüeriz	EL-14 base	847 ± 2	415 ± 10	1012.2 ± 3.4	1.85140 ± 0.01113
Espluga Lasgüeriz	EL-14 top	1071 ± 3	227 ± 10	893.4 ± 3.1	1.70410 ± 0.00864
Espluga Lasgüeriz	EL-2 top	380 ± 1	6038 ± 39	329.4 ± 4.2	1.38073 ± 0.01532
Espluga Lasgüeriz	EL-15 base	305 ± 1	2552 ± 12	1192.6 ± 6.7	0.07634 ± 0.00095
Espluga Lasgüeriz	EL-15 top	360 ± 1	584 ± 6	1271.0 ± 5.6	0.00858 ± 0.00043
Pot au Feu	CT-PF-2 top	154 ± 1	2044 ± 9	948.5 ± 13.3	64.0 ± 1.7
Pot au Feu	CT-PF-2 base	184 ± 1	2042 ± 8	833.4 ± 12.8	80.5 ± 1.6

<i>Cave</i>	$[\text{}^{230}\text{Th} / \text{}^{232}\text{Th}]$ <i>ppm^d</i>	<i>Age uncorrected</i>	<i>Age corrected^{e, e}</i>	$\delta^{234}\text{U}$ <i>initial corrected</i>
Espluga Lasgüeriz	1089.6 ± 8.6	449970.8 ± 48010	449572 ± 47827	154.7 ± 28.1
Espluga Lasgüeriz	362070 ± 10933	382933 ± 21452	382933 ± 21452	1028.0 ± 70.1
Espluga Lasgüeriz	45072.1 ± 521.6	385823.2 ± 43259	385816 ± 43256	1133.4 ± 170.8
Espluga Lasgüeriz	357.5 ± 11.1	8046.7 ± 266	7952 ± 269	1090.1 ± 16.0
Espluga Lasgüeriz	2582 ± 151	1932 ± 58	1928 ± 58	1278.9 ± 15.5
Espluga Lasgüeriz	62348.3 ± 1511.6	190583.4 ± 2666	190578 ± 2666	1734.5 ± 14.5
Espluga Lasgüeriz	132421.7 ± 5831.3	184088.5 ± 2161	184086 ± 2161	1503.2 ± 10.6
Espluga Lasgüeriz	1434.6 ± 18.0	345542.2 ± 22580	345295 ± 22535	874.0 ± 63.1
Espluga Lasgüeriz	150.1 ± 1.9	3849.4 ± 50.0	3739 ± 74	1205.3 ± 6.8
Espluga Lasgüeriz	87.1 ± 4.4	412.1 ± 20.6	391 ± 23	1272.4 ± 5.6
Pot au Feu	0.05163 ± 0.00136	2922.4 ± 80.5	2724 ± 127	955.9 ± 13.4
Pot au Feu	0.05424 ± 0.00115	3267.7 ± 73.7	3092 ± 114	840.7 ± 12.9

Analytical errors are 2s of the mean.

a $^{234}\text{U} = ([\text{}^{234}\text{U} / \text{}^{238}\text{U}]_{\text{activity}} - 1) \times 1000$.

b ^{234}U initial corrected was calculated based on ^{230}Th age (T), i. e., $d^{234}\text{U}_{\text{initial}} = d^{234}\text{U}_{\text{measured}} \times e^{1234 \times T}$, and T is corrected age.

c $[\text{}^{230}\text{Th} / \text{}^{238}\text{U}]_{\text{activity}} = 1 - e^{-1230T} + (d^{234}\text{U}_{\text{measured}} / 1000) [(1230 / (1230 - 1234))] (1 - e^{-(1230 - 1234)T})$, where T is the age.

Decay constants are $9.1577 \times 10^{-6} \text{ yr}^{-1}$ for ^{230}Th , $2.8263 \times 10^{-6} \text{ yr}^{-1}$ for ^{234}U , and $1.55125 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$ for ^{238}U (CHENG *et al.*, 2000).

d The degree of detrital ^{230}Th contamination is indicated by the $[\text{}^{230}\text{Th} / \text{}^{232}\text{Th}]$ atomic ratio instead of the activity ratio.

e Age corrections were calculated using an average crustal $^{230}\text{Th} / \text{}^{232}\text{Th}$ atomic ratio of $4.4 \times 10^{-6} \pm 2.2 \times 10^{-6}$.

Those are the values for a material at secular equilibrium, with the crustal $^{232}\text{Th} / \text{}^{238}\text{U}$ value of 3.8. The errors are arbitrarily assumed to be 50%.

De casi todos los espeleotemas se hallaron las edades de la base y su terminación superior. En algunas solo fue posible obtener uno de esos valores debido a la antigüedad de las muestras, superiores al alcance máximo del método de datación empleado (500 ka).

Tabla III. Dataciones de U-Th realizadas en la Universidad de Melbourne.

Cueva	Muestra	N.º de laboratorio y fecha	U(ngg-1)	$[^{230}\text{Th} / ^{238}\text{U}]^a$
Espluga Lasgüeriz	5A-16-1 0 cm	UMA03410 Jul-2010	310	0.1116(09)
Espluga Lasgüeriz	5A-16-3 10 cm	UMA03412 Jul-2010	348	0.0225(07)
Pot au Feu	CT-PF 1 top	UMA03083 Nov-2009	109	0.0216(09)
Pot au Feu	CT-PF 1 base	UMA03082 Nov-2009	84	0.0549(20)
Pot au Feu	CT-PF 3 top	UMA03087 Nov-2009	53	1.406(08)
Pot au Feu	CT-PF 3 21 cm	UMA03084 Nov-2009	116	1.533(09)
Pot au Feu	CT-PF 3 base	UMA03086 Nov-2009	209	1.436(06)
Pot au Feu	CT-PF 4 top	UMA03090 Nov-2009	71	1.0469(77)
Pot au Feu	CT-PF 4 base	UMA03089 Nov-2009	67	1.2707(87)

Cueva	$[^{234}\text{U} / ^{238}\text{U}]^a$	$[^{232}\text{Th} / ^{238}\text{U}]$	$[^{230}\text{Th} / ^{232}\text{Th}]$	Edad(ka) ^b	$[^{234}\text{U} / ^{238}\text{U}]^c$
Espluga Lasgüeriz	2.1582(37)	0.0040(01)	27.7	5.59(.09)	2.1766(37)
Espluga Lasgüeriz	2.1949(42)	0.0057(02)	3.9	0.867(.11)	2.1978(42)
Pot au Feu	1.5703(41)	0.00845(49)	2.6	0.98(.25)	1.5719(41)
Pot au Feu	1.5331(92)	0.02008(78)	2.7	2.67(.60)	1.5372(92)
Pot au Feu	1.3385(46)	0.0108(04)	13.0	364(16)	1.95(04)
Pot au Feu	1.3869(41)	0.1311(63)	11.7	529(62)	2.74(30)
Pot au Feu	1.2674(27)	0.2551(80)	5.6	n / a	n / a
Pot au Feu	1.9595(45)	0.0695(21)	15.1	74.1(1.7)	2.1838(72)
Pot au Feu	1.7972(59)	0.0824(53)	15.4	114.1(2.4)	2.1018(95)

a Activity ratios determined after HELLSTROM (2003) using the decay constants of CHENG *et al.* (2000).

b Age in kyr before present corrected for initial ^{230}Th using eqn. 1 of HELLSTROM (2006) and $[^{230}\text{Th} / ^{232}\text{Th}]_i$ of 0.9 ± 0.4 .

c Initial $[^{234}\text{U} / ^{238}\text{U}]$ calculated using corrected age.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para poner en relación las morfologías endokársticas de la Espluga Alta de Lasgüeriz y las glaciares del valle del Irués, asumimos que durante las etapas interglaciares los procesos morfogenéticos dominantes en el interior

de la cueva están relacionados con la circulación de aguas en un régimen térmico suave que hace posible la precipitación de calcita en diversos espeleotemas (HENNING, 1983; DURÁN, 1989). En el exterior dominan los procesos gravitacionales y de arroyada ligados solamente a fuertes tormentas y fusión nival en primavera, ya que el drenaje habitual no es superficial sino subterráneo.

Por el contrario, en las etapas glaciares se produce el descenso en los niveles de fondo de valle por la circulación de los glaciares aprovechando la red de drenaje superficial que ellos mismos han ido elaborando en las distintas fases frías. Se produce el depósito en superficie de distintos sedimentos *tillíticos* y en el interior de las cuevas penetran estacionalmente aguas de fusión glaciaria con una importante carga detrítica que puede llegar a obturar la entrada de las cavidades, ralentizándose el flujo interno de agua y produciendo la sedimentación de ritmitas en áreas represadas por *gours*, bloques o simplemente en derivaciones del conducto principal. La precipitación de espeleotemas se detiene por la casi ausencia de agua y de carbono, al estar los fondos de circo ocupados por hielo y sin recubrimiento edáfico. La presencia de las lenguas glaciares ocupando los valles también contribuye a limitar la salida de agua por las surgencias y, por tanto, a hacer más lenta la circulación de agua en el endokarst.

Los fenómenos glaciares en los Pirineos deben entenderse en el marco cronológico de las montañas mediterráneas más que en el de los Alpes, como indican las dataciones de fases frías realizadas hasta ahora (SANCHO y cols., 2003; GARCÍA RUIZ y cols., 2003; PEÑA y cols., 2003; HUGHES y cols., 2006; LEWIS y cols., 2009).

En el conjunto de las cordilleras perimediterráneas se han establecido fases de actividad glaciaria en los pisos isotópicos marinos (MIS) 12, 8, 6 y en el intervalo 5d-2 (HUGHES y cols., 2006). En este último intervalo temporal sitúan un último máximo glaciario no centrado en el Último Máximo Glaciario (LGM) de Alpes y del casquete polar ártico en Europa y América del Norte. En correspondencia con estos datos, los Pirineos han registrado avances glaciares en los pisos isotópicos 6 (fase Sabiñánigo, 155,8 ka), transición 5a-5b (fase Aurín, 85-68 ka), 4 (fase Salinas, 62,7 ka) y 3 (fase Senegüé, 35,7 ka), según datos de SANCHO y cols. (2003), PEÑA y cols. (2003) y LEWIS y cols. (2009) (fig. 7).

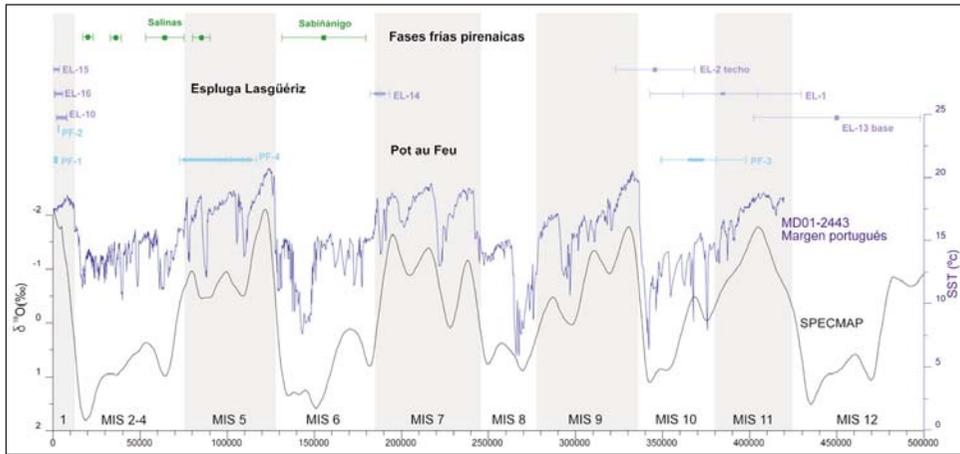


Fig. 7. Periodos de crecimiento de los espeleotemas datados y fases glaciares pirenaicas. Se añaden como referencias la curva SPECMAP (MARTINSON y cols., 1987) y el registro de temperaturas marinas superficiales del margen portugués (MARTRAT y cols., 2007).

No existen dataciones absolutas de los registros sedimentarios glaciares del Irués. Es posible, sin embargo, adscribirlos a dos fases diferentes basándonos en algunas características. Por un lado, el *till* superior del Irués presenta un aspecto más fresco que el inferior y una altitud moderada. Su situación y características, en comparación con otros *tills* del macizo, permiten situarlo tentativamente en el MIS 4, coincidente con el último máximo glaciar pirenaico (fase Salinas), datado en un emplazamiento muy cercano a la zona de estudio (SANCHO y cols., 2003). Por otro lado, los erráticos del vado del Irués y el *till* del Chorro se ubican en cotas muy bajas comparadas con el resto de *tills* de Cotiella (BELMONTE RIBAS, 2003). Presentan un aspecto más alterado y la reconstrucción de la lengua glaciar es de dimensiones notablemente mayores a las del último máximo glaciar pirenaico. Estos datos sugieren que pertenece a una fase anterior de condiciones climáticas más duras, que implicaron un desarrollo mucho más intenso de los glaciares. Lo asignamos, por tanto, a la fase Sabiñánigo (MIS 6).

Los espeleotemas permiten diferenciar varias etapas favorables a su crecimiento en el macizo (fig. 7). La más antigua, representada por las muestras EL-1, EL-2, EL-13 y PF-3, se concentra en torno a los MIS 10 y 11. Los elevados márgenes de error que presentan las dataciones impiden concretar

más este intervalo temporal y justificar de manera precisa que exista precipitación en cuevas de alta montaña durante el MIS 10. La transición gradual entre el MIS 10 y el 11, así como el pequeño número de espeleotemas analizados, pueden explicar este hecho (MORENO y cols., 2013).

Otras etapas de crecimiento identificadas son el MIS 7 (EL-14) y el MIS 5 (PF-4). La estalagmita que representa al MIS 5 concluye su crecimiento prácticamente cuando los glaciares pirenaicos marcan el paso a la fase fría que comienza en el MIS 4 y en la que se registrará el último máximo glaciar pirenaico, concluyendo a finales del MIS 2. La etapa más masiva de crecimiento detectada corresponde al Holoceno (MIS 1, estalagmitas PF-1, PF-2, EL-10, EL-15 y EL-16) y evidencia la completa deglaciación de la zona alta del macizo, la disponibilidad de agua y una actividad biológica mayor asociada a un cierto desarrollo edáfico en los circos y rellanos estructurales altos.

A su vez, la comparación entre las edades de las fases frías de la montaña mediterránea y los crecimientos espeleotémicos indica que la Espluga Lasgüeriz funcionó como un tubo freático, con seguridad, antes del MIS 12, lo cual explicaría también el tamaño que alcanzan las dos grandes estalagmitas de la cavidad. Alguna fase fría previa a la del MIS 12 (HUGHES, 2006) provocó el descenso del nivel de base del valle del Irués, que llevó asociado el comienzo de la incisión vadosa en el interior de la cueva. Un posterior relleno detrítico hizo posible el crecimiento del pavimento que se conserva en numerosos tramos de la cueva, todo ello dentro de un régimen climático más cálido, húmedo, con desarrollo edáfico por encima de los 2100 metros. Sobre el pavimento crecen estalagmitas de un modo no continuo, lo que justifica la estructura abombada que poseen las de mayor tamaño. Los espeleotemas (estalagmitas y pavimento) más antiguos dados parecen señalar esta fase de crecimiento, ubicable, por tanto, en torno al MIS 11 y parte del MIS 10.

El final de una fase fría posterior pudo significar la entrada en el endokarst de grandes cantidades de agua de fusión glaciar, erosionando los rellenos detríticos que sustentaban el pavimento, que acaba colapsando en diversos puntos de Lasgüeriz. También se produjo una entrada de agua de fusión glaciar de fuera hacia dentro, hecho que explica la aparición de granito en un depósito detrítico alóctono del primer tercio de la cavidad. Dado que el

desbordamiento del glaciar del Cinqueta por Santa Isabel es previo a la fase Salinas (MIS 4) y que entre dicho collado y la morrena de Sarabillo hay varios niveles de *till*, proponemos que este depósito se puede formar ligado a la fase Sabiñánigo (MIS 6). La confluencia del lóbulo del Cinqueta con las lenguas de Gradiello y Azitolar permite al hielo alcanzar el vado del Irués.

El MIS 5 devuelve al macizo condiciones húmedas y de temperaturas adecuadas para el crecimiento de espeleotemas, como es el caso de la PF-4, al menos en las cavidades bajas del valle, ya que no se ha encontrado ninguna estalagmita de esa edad en Lasgüeriz. El recrudecimiento climático del MIS 4, caracterizado por la fase Salinas, detiene la formación de estalagmitas en las cavidades del valle del Irués y favorece la formación del gran complejo sedimentario de la cabecera del valle, bajo el collado de Santa Isabel. Por último, tras la total deglaciación del macizo coincidente con el MIS 1 se restauran las condiciones propicias para la precipitación en las cavidades estudiadas, que continúa en la actualidad.

CONCLUSIONES

El estudio combinado de morfologías glaciares y kársticas, acompañado de datos cronológicos de espeleotemas de dos cavidades, ha permitido efectuar una ordenación de los principales acontecimientos que han contribuido al modelado del relieve del valle del Irués.

En los últimos 500 ka se tiene constancia de la alternancia de fases climáticas frías con otras de clima más benigno. Esas alternancias han condicionado la preponderancia de distintos agentes morfogenéticos. Durante las fases frías, los glaciares han sido los responsables del modelado del relieve, ahondando y perfilando artesas y depositando restos sedimentarios de distinta importancia. Destacan los restos de la zona final del valle (Chorro – vado del Irués), que se pueden adscribir al MIS 6 y son coincidentes, por tanto, con la fase Sabiñánigo. El otro gran conjunto de sedimentos está ubicado en la zona alta del valle y pertenece al último máximo glaciar pirenaico (fase Salinas, MIS 4).

El crecimiento de espeleotemas, propio de condiciones climáticas más cálidas y húmedas, ha sido datado en diferentes etapas. La más antigua se sitúa en torno a los MIS 10 y 11, aunque en la Espluga Lasgüeriz

hay evidencias de actividad constructiva y erosiva anterior, poniendo de relieve la gran antigüedad de la cavidad. Durante los MIS 7 y 5 el clima vuelve a ser propicio para el desarrollo de espeleotemas. La larga fase fría que abarca de finales del MIS 5 hasta el MIS 2 inhibe la precipitación en las cuevas del valle. No es hasta la mejora climática del MIS 1 cuando vuelve a generalizarse la formación de espeleotemas en las cavidades de Cotiella, aún activa en la actualidad.

AGRADECIMIENTOS

Parte de este trabajo ha sido posible gracias a una Ayuda a la Investigación concedida por el IEA en el curso 2006-2007.

Agradecemos la inestimable colaboración de Ana Moreno (IPE, CSIC) en el trabajo de campo, dataciones y discusión de los resultados. Mikel Calle, Pablo Santolaria, Luis Carcavilla, Ramón Queraltó y Carles Pons (ACEC) prestaron una ayuda fundamental en distintas fases del trabajo de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELMONTE RIBAS, Á. (2001). *Análisis geomorfológico del macizo de Cotiella*. IEA. Huesca. 133 pp. Inédito.
- BELMONTE RIBAS, Á. (2003). La extensión máxima del glaciario en el macizo de Cotiella (Pirineo oscense). *Boletín Glaciológico Aragonés*, 4: 69-90.
- BULL, P. (1983). Chemical sedimentation in caves. En A. S. Goudie y K. Pye (eds.), *Chemical sediments and geomorphology: precipitates and residua in the near-surface environment*: 301-319. Academic Press. Londres.
- CHENG, H., L. R. EDWARDS, J. HOFF, C. D. GALLUP, D. A. RICHARDS y Y. ASMEROM (2000). The half-lives of uranium-234 and thorium-230. *Chemical Geology*, 169: 17-33.
- CHUECA, J., J. L. PEÑA, F. LAMPRE, J. M.^a GARCÍA RUIZ y C. MARTÍ (1998). *Los glaciares del Pirineo aragonés: estudio de su evolución y extensión actual*. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza. 104 pp.
- DEL VALLE, J. (1997). La precipitación media anual en el sector alto de la cuenca del Cinca (Pirineo aragonés, España). *Pirineos*, 149-150: 121-144.
- DORALE, J. A., R. L. EDWARDS, E. C. ALEXANDER, C. C. SHEN, D. A. RICHARDS y H. CHENG (2004). Studies of Cave Sediments: Physical and Chemical Records of Paleoclimate. En J. E. Myroie e I. D. Sasowsky (eds.), *Studies of Cave Sediments: Physical and Chemical Records of Paleoclimate*: 177-197. Kluwer Academy / Plenum Publishers. Nueva York.

- DURÁN, J. J. (1989). Geocronología de los depósitos asociados al karst en España. En J. J. Durán y J. López (eds.), *El karst en España: 243-256*. Sociedad Española de Geomorfología (Monografía, 4). Madrid.
- FORD, D., y P. WILLIAMS (2007). *Karst hydrology and geomorphology*. Wiley. Nueva York. 652 pp.
- GARCÍA RUIZ, J. M.^a, y C. MARTÍ BONO (1994). Rasgos fundamentales del glaciario cuaternario en el Pirineo aragonés. En C. Martí Bono y J. M.^a García Ruiz (eds.), *El glaciario surpirenaico: Nuevas aportaciones: 17-31 y 1 mapa*. Geoforma. Logroño.
- GARCÍA RUIZ, J. M.^a, B. L. VALERO GARCÉS, C. MARTÍ BONO y P. GONZÁLEZ SAMPÉRIZ (2003). Asynchronicity of maximum glacier advances in the Central Spanish Pyrenees. *Journal of Quaternary Science*, 18: 61-72.
- GARCÍA RUIZ, J. M.^a, C. MARTÍ BONO, J. L. PEÑA MONNÉ, C. SANCHO, E. J. RHODES, B. VALERO GARCÉS, P. GONZÁLEZ SAMPÉRIZ y A. MORENO (2012). Glacial and fluvial deposits in the Aragón Valley, Central-Western Pyrenees: chronology of the Pyrenean late Pleistocene glaciers. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geograph*, 95(1): 15-32. DOI: 10.1111 / j.1468-0459.2012.00478.x.
- HELLSTROM (2003). Rapid and accurate U / Th dating using parallelion-counting multi-collector ICP-MS. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 18: 1346-1351.
- HELLSTROM (2006). U-Th dating of speleothems with high initial ²³⁰Th using stratigraphical constraint. *Quaternary Geochronology*, 1: 289-295.
- HENNING, G. J., R. GRUN y K. BRUNNACKER (1983). Speleothems, Travertins and Paleoclimates. *Quaternary Research*, 20: 1-29.
- HUGHES, P. D., J. C. WOODWARD y P. L. GIBBARD (2006). Quaternary glacial history of the Mediterranean mountains. *Progress in Physical Geography*, 30(3): 334-364.
- IZARD, M., H. CASANOVA, P. DEVAU y G. AUTOU (1984). Continentalité et notion de zone interne dans les Pyrénées. *Acta Biologica Montana*, 4: 227-229.
- JENNINGS, J. N. (1981). *Karst Geomorphology*. Basil Blackwell. Oxford. 293 pp.
- LEWIS, C. J., E. V. McDONALD, C. SANCHO, J. L. PEÑA y E. J. RHODES (2009). Climatic implications of correlated Upper Pleistocene glacial and fluvial deposits on the Cinca and Gállego Rivers (NE Spain) based on OSL dating and soil stratigraphy. *Global and Planetary Change*, 67: 141-152.
- MARTÍNEZ PEÑA, M.^a B. (1991). *La estructura del límite occidental de la Unidad Surpirenaica Central*. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza. 380 pp.
- MARTINSON, D. G., N. G. PISIAS, J. D. HAYS, J. IMBRIE, T. C. MOORE y N. J. SHACKLETON (1987). Age dating and the orbital theory of the Ice Ages: development of a high-resolution 0 to 300 000-year chronostratigraphy. *Quaternary Research*, 27: 1-29.
- MARTRAT, B., J. O. GRIMALT, N. SHACKLETON, L. DE ABREU, M. A. HUTTERLI y T. F. STOKER (2007). Four climate cycles of recurring deep and surface water destabilizations on the Iberian Margin. *Science*, 317: 502-507.

- MORENO, A., Á. BELMONTE, M. BARTOLOMÉ, C. SANCHO, B. OLIVA, H. STOLL, L. R. EDWARDS, H. CHENG y J. HELLSTROM, J. (2013). Formación de espeleotemas en el noreste peninsular y su relación con las condiciones climáticas durante los últimos ciclos glaciares. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 31(1): 25-47.
- PEÑA, J. L. (1995). Los Pirineos. En M. Gutiérrez (coord.), *Geomorfología de España*: 159-225. Rueda. Madrid.
- PEÑA, J. L., C. SANCHO, C. LEWIS, E. MCDONALD y E. RHODES (2003). Las morrenas terminales de los valles glaciares del Gállego y Cinca (Pirineo de Huesca). Datos cronológicos. *Boletín Glaciológico Aragonés*, 4: 91-109.
- SANCHO, C., J. L. PEÑA, C. LEWIS, E. MCDONALD y E. RHODES (2003). Preliminary dating of glacial and fluvial deposits in the Cinca River Valley (NE Spain): chronological evidences for the Glacial Maximum in the Pyrenees? En B. Ruiz-Zapata (ed.), *Quaternary Climatic Changes and Environmental Crises in the Mediterranean Region*: 169-173. Universidad de Alcalá de Henares.
- SÉGURET, M. (1972). *Étude tectonique des nappes et séries décollées de la partie centrale du versant sud des Pyrénées*. USTELA (Série Géologie Structurale). Montpellier. 155 pp.
- WHITE, W. B. (2007). Cave sediments and paleoclimate. *Journal of Cave and Karst Studies*, 69(1): 76-93.

EL PARTIDOR DE ARASCUÉS: UNA OBRA HIDRÁULICA SINGULAR DE LA HUESCA DEL SIGLO XVII

José Antonio CUCHÍ¹
Raúl ANDRÉS¹

RESUMEN.— Los partidores son un elemento clave en el reparto del agua. Se describe un singular partidor de tres salidas existente en Arascués (Huesca). Construido en 1603, terciaba el agua entre los sistemas de riegos de Huesca y Arascués.

ABSTRACT.— The water divisors are a key element in water allocation. We describe a unique 3-way splitter existing at Arascués (Huesca). Built in 1603, it divided the water between the irrigation systems of Huesca and Arascués.

KEY WORDS.— Water divisor, Isuela river, irrigation, Arascués, Huesca (Spain).

INTRODUCCIÓN

En zonas semiáridas una adecuada gestión de los recursos hídricos obliga al desarrollo de instrumentos de control de alta eficacia y sencillo funcionamiento. Uno de estos es el partidor, que distribuye el agua proporcionalmente entre dos usuarios, cualquiera que sea el caudal que reciba. Un partidor es un elemento pasivo de división de agua mediante una proa, también llamada *tajamar* o *cuchillo*, normalmente fija, que reparte el agua de la acequia que llega (entrante) en función proporcional a la anchura de cada una de las

¹ Escuela Politécnica Superior de Huesca. Área de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. cuchi@unizar.es, randresm@unizar.es

acequias derivadas. A la que lleva menos caudal se le denomina *saliente* y a la otra *pasante*. El diseño se complementa con un resalte hidráulico en la solera del partidor para garantizar un incremento en la velocidad del agua.

Su origen es antiguo, sin que se pueda precisar dónde comenzaron a utilizarse. GUINOT (2008) considera que los existentes en Valencia, llamados *llengües*, tienen sus orígenes en el período islámico.



Fig. 1. Partidor en la Cruz del Palmo, en el sistema de riegos del pantano de Arguis.



Fig. 2. Partidor de la Santeta, en la ribera del Flumen.

En la zona de Huesca todavía se usan en los sistemas del pantano de Arguis y la ribera del Flumen, donde hay alguna evidencia de riegos de época romana (REY y cols., 2000; CUCHÍ, 2005). La figura 1 presenta un partidor en el sistema de Arguis, en las cercanías de la Cruz del Palmo, en Huesca. La figura 2 muestra el tercio de la Santeta, que divide aguas entre las acequias de Quicena y de la ribera del Flumen, en el término municipal de Quicena.

Sin embargo, en esta zona muchos han sido transformados en sistemas de compuertas, dando paso alternativamente por ambos brazos, aunque conserven el nombre de *partidores*. Un caso singular en Huesca es el del partidor de Cortés (fig. 3), que se encuentra a algunos metros de la salida de la alberca del mismo nombre. Divide el agua entre los dos brazos, alto y bajo, del término de la Algüerdia, que riega en jueves. Según una antigua norma, hay que hacer pasar el agua, para el brazo bajo, por dos de las cuatro compuertas, abiertas alternativamente. En la actualidad solo se abren la primera y la tercera, contadas en orden descendente (Lorenzo Clemente, comunicación personal).

Este artículo se centra en un singular partidor, existente en el término municipal de Arascués, que fue construido a inicios del siglo XVII. En el Archivo Histórico Provincial de Huesca figura el contrato con el cantero Juan de Balen por 920 sueldos, firmado el 26 de marzo de 1603 (AHPH, Sebastián Canales, prot. 704).



Fig. 3. Partidor de Cortés, en el sistema de riegos del pantano de Arguis.



Fig. 4. Edificio del partidor de Arascués (23 de abril de 2011).

Probablemente del mismo tiempo es su edificio protector, que se muestra en la figura 4. Es una edificación modesta, en tapial. Está reconstruido parcialmente con materiales modernos, quizás tras la Guerra Civil. En los últimos meses su techo se ha hundido y todo hace suponer una rápida ruina.

EL PARTIDOR DE ARASCUÉS

La historia del riego en la cuenca del Isuela ha sido estudiada por MUR VENTURA (1919), ARCO Y GARAY (1924), BALAGUER (1954), BOLEA FORADADA (1986), LALIENA CORBERA (1994), CUCHÍ (2004, 2005), CUCHÍ y GARCÉS (2008), GARCÉS y CUCHÍ (2008). El riego, en sus diferentes sistemas, está bien documentado desde el siglo XI, con evidencias arqueológicas de época romana. De forma resumida, el agua es un bien escaso y, por tanto, disputado en la cuenca baja del río. La demanda de agua para riego en primavera y verano, para panes y huertas, habitualmente ha sido superior a los recursos disponibles, aun contando con la regulación aportada por las

albercas y el embalse de Arguis. Arascués, Igríes y Huesca, con Banastás, Chimillas y Yéqueda en menor medida, han pugnado desde antiguo por el control del agua. Nueno, por su estratégica posición, parece haber estado al margen de los conflictos.

Durante siglos, hasta la década de los ochenta, el partididor de Arascués ha sido una pieza clave en el reparto de agua entre Huesca y los principales derechohabientes y consumidores de agua en el Isuela. Como se describe en la documentación reseñada, el partididor se encuentra en la acequia de Arascués, que nace en un azud situado en Nueno. Está topográficamente al lado y más alto que la acequia madre de Huesca, que nace en un azud en el término municipal de Arascués. El partididor terciaba el agua entre Huesca, un tercio, y Arascués, el resto, durante los sábados y los domingos. Durante el resto de la semana el agua era toda para Huesca.

La solución técnica que el autor adoptó para el partididor es realmente singular, dado que tiene tres salidas simultáneas a partir de un punto de división, como muestra la figura 5. Es de señalar que la gran mayoría de los partididores tienen dos salidas. Aquellos que dividen en tres partes disponen de tajamares paralelos, es decir, son dos partididores paralelos.

Es reseñable que el funcionamiento del partididor solo implicara el funcionamiento de dos salidas, mientras que la tercera se cerraba mediante una compuerta. La salida directa corresponde a Arascués; las laterales, a Huesca. Si bajaba agua por la acequia entre semana se cerraba la entrada a Arascués y toda el agua aflucía a la acequia de Huesca por las dos salidas laterales. El viernes, a la salida del sol, se cerraba la entrada grande hacia Huesca y se abría la de Arascués. No está claro ni dónde se tomó el modelo ni el porqué de las tres salidas. Con solo dos salidas del partididor y una derivación al salir de la toma de Arascués que volviera el agua a la acequia de Huesca hubiera sido suficiente. Lógicamente el edificio protegía de posibles manipulaciones que modificaran el reparto de caudales.

Hoy este partididor está en desuso, desde 1980, tras la modificación del trazado de la acequia de Arascués al realizar una acometida mediante tubería a cota más alta para llenar un embalse situado junto a la ermita de la Virgen del Olivar. Pero, simultáneamente, se construyó un nuevo partididor siguiendo las medidas del antiguo (Lorenzo Clemente, comunicación personal).

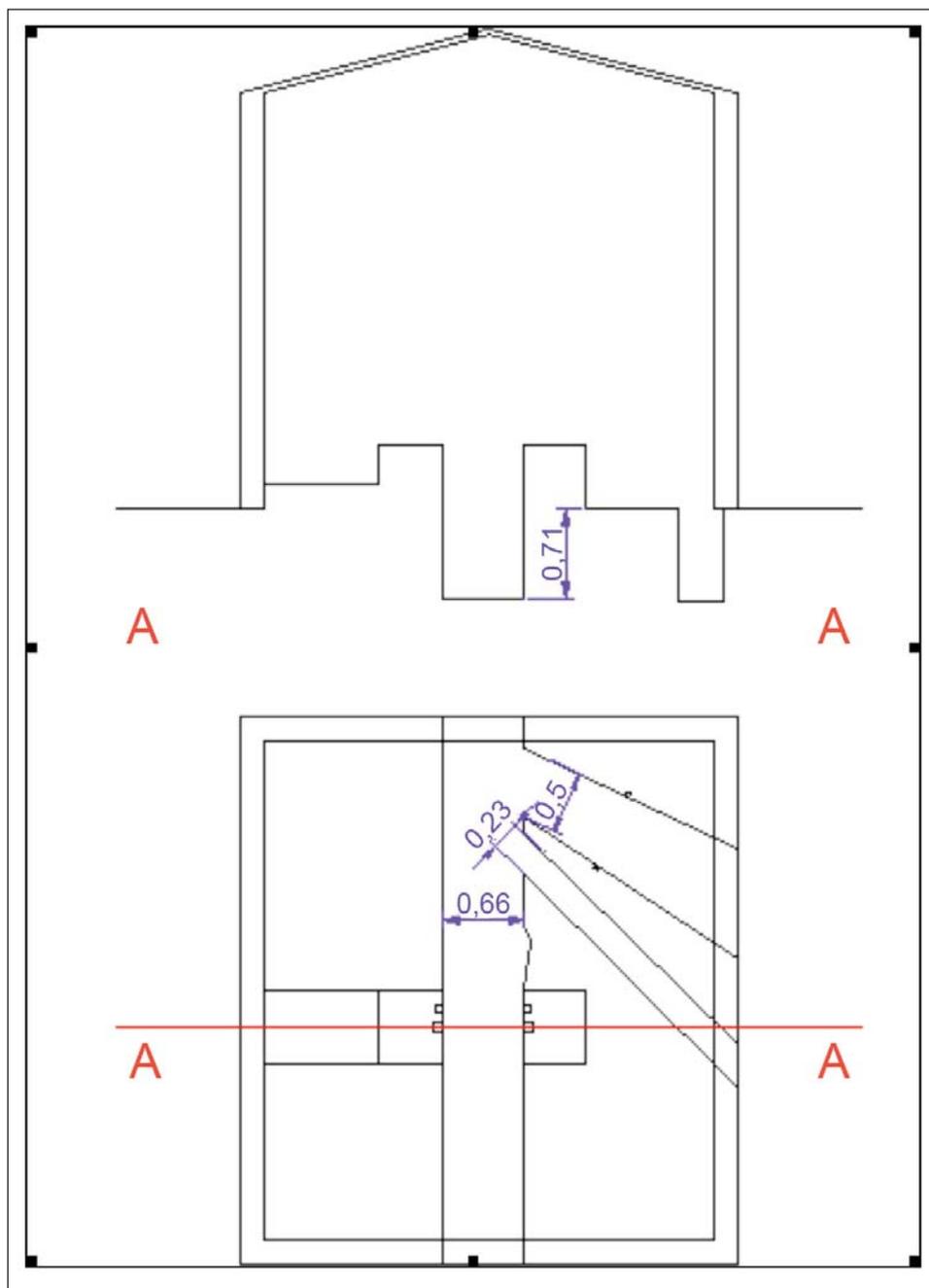


Fig. 5. Corte y alzado del partidor de Arascués.

EJEMPLOS EN OTRAS ZONAS DE ESPAÑA

Para complementar la información del presente artículo, se han buscado ejemplos en otros riegos. Como ya se ha señalado, el topónimo es común en el sistema de riegos del pantano de Arguis, pero se han sustituido por grupos de tajaderas. Se han localizado los restos desmontados de otro partididor en el molino bajo de la ribera del Flumen, sustituido por tres canales paralelos de hormigón. En el bajo Gállego, en la acequia Urdana, se encuentra el *cuchillo* que distribuye el agua entre Montañana y Villamayor. Un enorme y singular partididor de aguas de lluvia se encuentra en una cuenca de secano de Monegros: conocido como azud de Casa Bastarás, de Lanaja, reparte aguas de tormenta.

Mucho más reciente es el denominado *partidor americano*, de cuchilla móvil, situado en los riegos de la Violada, en las proximidades de Ontinar del Salz (Miguel Tejero, comunicación personal). Parece un curioso ejemplo de retorno de tecnología.

En los riegos de Valencia son abundantes los partididores, que LÓPEZ-GÓMEZ (1975) describe con algún detalle. En la provincia de Alicante, en el río Sella, un partididor tercia las aguas entre Orcheta y Villajoyosa. En la localidad valenciana de Potrías las aguas del río Serpis se dividen sucesivamente en los partididores de la Casa Fosca, entre las acequias del Rebollet y Común de Gandía y Oliva. Esta última, a su vez, se reparte entre estas localidades en el partididor de la Casa Clara. En la ribera del Júcar, en Alfarp, un partididor divide las aguas entre las acequias del Alginet y de Carlet. En Paterna está el partididor de la acequia de la Uncía, en el brazo de los Molinos. En el palmeral de Elche destaca la denominada *llengua* de Candalix, en la acequia mayor de esta localidad.

También son frecuentes los partididores en Murcia y Andalucía. Está documentado en el río Abrucena, en Almería, un reparto 2 : 1 desde 1356, en época nazarí (ESPINAR, 1989). El agua también puede dividirse en más de dos salidas mediante una serie de cuchillos paralelos. Asimismo, se cita un partididor similar en la huerta Alta de Mula (GÓMEZ-ESPÍN y cols., 2005).

El reparto de agua en estos equipos, a pesar de su sencillez teórica, puede ser conflictivo. En el de Arascués se citan casos de apariciones inexplicables de objetos en el cajero, que modifican el reparto. En las cercanías de

Zaragoza el cambio del ángulo del cuchillo que divide las aguas de la acequia Urdana, entre Montañana y Villamayor, ha sido objeto de largos pleitos. En el río Sella los conflictos entre Orcheta y Villajoyosa llegaron hasta la Audiencia de Valencia, y este partidor fue reformado en 1804, a costa del Real Patrimonio, para evitar manipulaciones. Aun así, en 1834 fue destruido por los vecinos de Orcheta (GIMÉNEZ-FONT, 2003).

Como otros términos relacionados con el riego, la palabra *partidor* tiene también otros significados. En la huerta de Alicante se denomina *partidor* a una compuerta que se usa con aguas eventuales (MORALES GIL y BRU RONDA, 1984). Análogamente, en la misma zona también se conocen como *partidores* las tomas de acequia del canal de la Comunidad de Riegos de Levante en la margen derecha del Segura (LÓPEZ-ORTIZ y MELGAREJO, 2007). Estas tomas se llaman *almenaras* en muchos canales, como en el Imperial de Aragón. También se denomina *partidor* al inicio de un canal a partir de un azud, como en el canal de Serós, desde el Segre.

En Almería, Murcia y Alicante se conocen como *partidores* los azudes contruidos en los barrancos temporales que desvían el agua hacia los vecinos banales de secano, sistema denominado *de boquera*. Este es, evidentemente, diferente al sistema de boquera aplicado en Huesca, donde se entiende el riego por turno del cereal de invierno durante su floración.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos las informaciones de Lorenzo Clemente, secretario de la Comunidad de Usuarios del Pantano de Arguis. También han sido de mucha utilidad los comentarios de Miguel Tejero, de Riegos del Salz.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCO Y GARAY, R. del (1924). *El antiguo pantano de Arguis o de Huesca*. Talleres Editoriales del Heraldo. Zaragoza.
- BALAGUER, F. (1954). Los riegos en la Plana de Huesca. *Argensola*, 17: 49-56.
- BOLEA FORADADA, J. A. (1986). Los riegos de Aragón. Grupo Parlamentario Aragonés Regionalista de las Cortes de Aragón. Zaragoza. 579 pp.
- CUCHÍ, J. A. (2004). La Comisión de Riegos del Sindicato del pantano de Arguis (1933-1938). *Anales de la Fundación Joaquín Costa*, 21: 31-48.

- 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.
- CUCHÍ, J. A., y C. GARCÉS (2008). Aportaciones a la evolución del sistema de riegos del Isuela en la ciudad de Huesca. *Anales de la Fundación Joaquín Costa*, 25: 43-58.
- ESPINAR, M. (1989). Estudio sobre propiedad particular de las aguas de la acequia de Jarales (1267-1528). Problemas de abastecimiento urbano y regadíos de tierras entre las alquerías de Abrucena y Ablá. En *Actas del I Coloquio de Historia y Medio Físico*: 249-265. IEA. Almería.
- GARCÉS, C. (2008). La mina de Bonés: agua y fracaso en la Huesca del siglo XVII. *Argensola*, 116: 111-170.
- GARCÉS, C., y J. A. CUCHÍ (2008). Historia de la acequia Mayor de Huesca (siglos XII a XVII): de una orilla a otra del Isuela. *Anales de la Fundación Joaquín Costa*, 25: 59-100.
- GIMÉNEZ-FONT, P. (2003). El pantano de Rellu y el riego de la huerta de Villajoyosa (1653-1879). *Investigaciones Geográficas*, 30: 97-118.
- GÓMEZ-ESPÍN, J. M., E. GIL-MESEGUER y R. GARCÍA MARÓN (2005). Insuficiencias hídricas y modernización de regadíos en la cuenca alta de Mula. *Papeles de Geografía*, 41-42: 101-121.
- GUINOT, E. (2008). Construir l'aigua: sobre l'arquitectura hidràulica i les hortes històriques enteses com una de les Belles Arts. *Tractat de l'Aigua: revista valenciana interdisciplinar de l'aigua*, 1: 34-45.
- LALIENA CORBERA, C. (coord.) (1994). *Agua y progreso social: siete estudios sobre el regadío en Huesca, siglos XII-XX*. IEA. Huesca. 257 pp.
- LÓPEZ-GÓMEZ, A. (1975). El origen de los riegos valencianos, II: La división del agua. *Cuadernos de Geografía*, 17: 1-38.
- LÓPEZ-ORTIZ, M. I., y J. MELGAREJO (2007). El fin del regadío tradicional y la creación de sociedades mercantiles para la venta de agua. Riegos de Levante. Margen derecha del Segura. *Boletín de la AGE*, 43: 307-334.
- MORALES GIL, A., y C. BRU RONDA (1984). Disponibilidades hídricas y modernas técnicas de embalse en el campo de Alicante. *Investigaciones Geográficas*, 2: 19-50.
- MUR VENTURA, L. (1919). *Los riegos en el término municipal de Huesca*. Consejo Provincial de Agricultura y Ganadería. Huesca. 119 pp.
- REY, J., A. SERRETA y J. A. CUCHÍ (2000). Nota sobre una acequia perdida bajo el casco antiguo de la ciudad de Huesca. *Bolskan*, 17: 229-235.

LA CUEVA DE LA ARTICA (BELSUÉ, HUESCA)

José Antonio CUCHÍ¹
Víctor VIÑALS¹
José Antonio RAUSA¹
José Luis VILLARROEL¹

RESUMEN.— La cueva de la Artica (Belsué, Huesca) es una modesta cueva fósil en caliza del Eoceno (formación Guara) de las Sierras Exteriores de la cordillera pirenaica. Se abre en la margen derecha del río Flumen, a 80 metros de altura sobre el cauce, y está controlada por fracturas karstificadas de dirección norte. Fue utilizada en la prehistoria como cueva sepulcral y descubierta en 1979 por espeleólogos. Este artículo presenta una topografía detallada y describe su morfología.

ABSTRACT.— Artica cave (Belsué, Huesca) is a small fossil cave in the limestone of Guara Fm, Eocene of Sierras Exteriores of the Pyrenean range. It opens at the right side of the Flumen river, at 80 m over the riverbed. The cave is controlled by fractures of a general N-S trend. The cave was used as a burial place during the prehistory, and founded again in 1979 by cavers. This paper presents a detailed topography and describes its morphology.

KEY WORDS.— Karst, Artica cave, Flumen river, conservation, Belsué, Huesca (Spain).

¹ Grupo de Tecnologías en Entornos Hostiles. Instituto Universitario de Investigación de Ingeniería de Aragón (I3A). Edificio I+D+i. Universidad de Zaragoza. C/ Mariano Esquillor, s/n. E-50018 ZARAGOZA. cuchi@unizar.es, victor@unizar.es, jarausa@ono.com, jlvilla@unizar.es

INTRODUCCIÓN

La Artica es una modesta cavidad que se abre en la orilla derecha del río Flumen, en el inicio del estrecho que une las depresiones de Santa María de Belsué y de Forcandiella, que Lucien Briet denominó de San Mamés. Esta última se cierra al sur por los monolitos del Salto de Roldán.

La cueva se encuentra en el inicio septentrional del cortado de la Toba, junto a una escalera construida durante la realización de las obras del cercano pantano de Santa María de Belsué. Recubierta su boca por un canchal de gelifractos, fue descubierta en la Semana Santa de 1979. Durante un cursillo de iniciación a la espeleología, organizado por el Grupo de Exploraciones Espeleológicas del Club Peña Guara de Huesca (GIEPG) y el Grupo Edelweis de Sabiñánigo, se desobstruyó laboriosamente la boca retirando una acumulación de piedras por las que soplaba aire. Desconocida por los habitantes de la zona, recibió el nombre de un cercano topónimo situado al sur del actual refugio de Peña Guara, que indicaba la presencia de un campo temporal de cultivo, una *artica*, hoy desaparecida. El nombre también denota el esfuerzo que supuso su apertura. Cabe reseñar que, con la emoción del hallazgo, poco usual en la sierra de Guara, un cursillista se quedó perdido y sin luz en la cavidad durante algunas horas durante la primera entrada masiva. Meses más tarde, el GIEPG (1979) publicaba la noticia en el periódico *Nueva España* de Huesca, con una primera y hasta ahora única topografía, junto con una breve descripción y la cita del hallazgo de vasijas atribuidas al Neolítico y a la Edad del Bronce. Este hecho es referenciado en MONTES (1983, 1984), DOMÍNGUEZ y cols. (1984), CASTÁN (2000) y MONTES y cols. (2001), pero, al parecer, no se ha realizado una excavación sistemática. Por otro lado, se ha supuesto que la Artica pudo ser visitada en 1648 por Vincencio Juan de Lastanosa, erudito oscense, quien describió el hecho en una carta transcrita en EGIDO y LAPLANA (eds.) (2008). Sin embargo, parece que la cavidad visitada fue la vecina cueva del Toro (CUCHÍ y cols., 2012a, b).

El presente artículo se centra en la cueva de la Artica, con una detallada topografía, un breve estudio geológico y un análisis de la cavidad dentro de la morfología del alto Flumen. Como complemento, se añade alguna información sobre una serie de cercanas incisiones en la cuenca alta del Flumen. Su presencia junto a la Artica puede servir para iniciar hipótesis

sobre la compleja y poco conocida génesis de los cañones prepirenaicos, en general, y del Flumen, en particular. Hay que reseñar la ausencia de terrazas en este curso, salvo las más bajas, unos pocos metros por encima del cauce actual.

MARCO NATURAL: LA CUENCA DEL ALTO FLUMEN

El alto Flumen está formado por dos cauces subsecuentes que confluyen en la depresión de Santa María de Belsué. La rama occidental, generalmente admitida como Flumen superior, nace en los llanos de Bonés, amplia y suave depresión en cuna situada entre esta sierra y el puerto de Monrepós. El curso de agua se dirige al este siguiendo la estratificación geológica hasta cruzar bajo el viaducto Cubils de la antigua N-330 y los puentes de la A-23. A partir de este punto, deriva ligeramente al sur hasta la pardina de Ascaso, donde se inician una serie de meandros encajados. Uno de los más marcados se encuentra aguas abajo de Santa María de Belsué. Poco después entra en una gran depresión y recibe al barranco de Lusera, también denominado Flumen en algunos mapas. Este nace al sur de Ibirque. Primero fluye hacia el sur y luego gira al oeste a la altura de la pardina de Orlato, cruza los estrechos de Carruaca, frente a Lusera, hasta confluir con el otro curso en las cercanías de la choperera de Belsué. Tras la confluencia, a unos 700 metros, reciben al barranco de Belsué, modesto curso para su cuenca que nace en el collado de Mesón Nuevo y recarga con las fuentes de Refrescolada y de Los Muertos. A continuación, el Flumen entra en la garganta donde se han construido las presas de Santa María de Belsué y Cienfuens. El cauce gira al suroeste algunos cientos de metros más adelante y desde Cienfuens se dirige hacia el sur, atravesando una segunda depresión donde se encontraba el corral de Lo Grau, para salir, encajonado por el estrecho del Salto de Roldán, al Somontano.

Geológicamente la zona se enmarca en las Sierras Exteriores oscenses y presenta una serie estratigráfica clásica del Prepirineo, donde sobre arcillas y evaporitas del Keuper afloran discordantes calizas arenosas marinas del Cretácico superior. Estas finalizan en depósitos de facies Garumniense, arcillas rojizas continentales, que dan paso a calizas del Paleoceno y Eoceno medio (formación Guara). En su parte superior da paso, primero, a los materiales margosos de las formaciones Arguis y Belsué-Atarés, y después

a las areniscas de la formación Campodarbe, que se depositaron en el Oligoceno, en un ambiente costero. A falta de la muy demorada publicación del mapa 1: 50 000 del IGME, la cartografía más detallada aparece en MONTES (2009). Estructuralmente es zona compleja en el límite del dominio pirenaico, donde, sobre el cabalgamiento del Guarga, se formaron una sucesión de pliegues de eje norte-sur alternando anticlinales apretados y amplios sinclinales de fondo plano. Detalles de la estructura de la zona pueden encontrarse en ANASTASIO y HOLL (2001), MILLÁN (2006) y VIDAL (2010). De forma simplificada, la cuenca alta del Flumen se enmarca entre los anticlinales del Águila, al oeste, y Gabardiella, al este. Entre ambos está el sinclinal de Belsué, con un eje bifurcado donde aumenta la potencia de las margas, que por erosión diferencial han dado lugar a la depresión de Santa María de Belsué. Por el sur, se cierra con la caliza de la ladera del Paco As Lianas o Adriana. El Flumen se abre a través del contacto entre este y el flanco occidental del anticlinal de Gabardiella, separando dos unidades de diferente morfología: al este las escarpadas laderas de Gabardiella, cubiertas de canchales activos, y al oeste la suave ladera del Paco As Lianas. Sobre el río, esta acaba en un cortado de grandes dimensiones conocido como Roca de La Toba, visible desde la ciudad de Huesca. Entre ambos ejes del sinclinal de Belsué, su plana charnela caliza, el mencionado Paco, tiene la morfología de una cuesta monoclinial, de moderado buzamiento, 25 grados norte, formada por capas métricas de caliza de la formación Guara. A techo presenta capas ricas en numulites. Recubierto de áspero matorral espinoso, tiene una superficie próxima a los 3,7 km², con áreas de suelo, canchales pasivos, lapiazes y zonas de un moderado aspecto ruiniforme. La caliza presenta una fracturación densa, con fracturas de dirección dominante al norte. La superficie está intensamente karstificada, en ella destaca el lapiaz estructural citado por RODRÍGUEZ-VIDAL (1986). La figura 1 presenta el diagrama de fracturación en cuatro estaciones, situadas en el extremo oriental del Paco As Lianas (Huso 30 T. Estación 1: 0717919-4686263-1145 msnm; Estación 2: 0717766-4686202-1143 msnm; Estación 3: 0717492-4685930-1218 msnm; Estación 4: 078298-4686722-1058 msnm).

Se observa que la dirección de la fracturación es variable, próxima a una dirección norte-sur. También es muy heterogénea la intensidad de karstificación, que ha ensanchado localmente, por disolución, la distancia entre

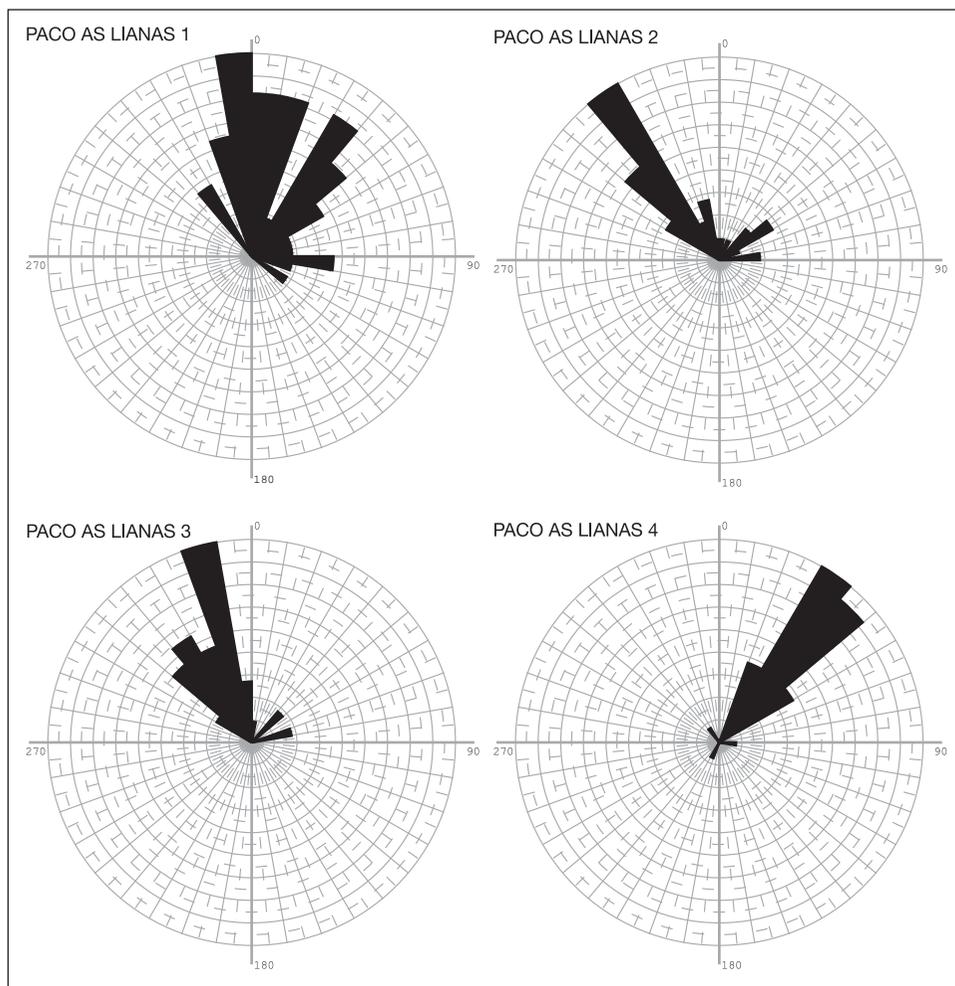


Fig. 1. Rosa de fracturaciones en cuatro estaciones en Paco As Lianas.

bordes de diaclasa, dando zanjas subverticales. En la estación 3 esta anchura de las diaclasas es muy pequeña, mientras que en la 4 llega, por disolución, a los 20 centímetros. No es fácil obtener datos de buzamiento, aunque en la estación 2 se ha medido un buzamiento de 55 grados al oeste. Además de las zanjas, aparecen áreas de lapiaz oqueroso, limitadas zonas de *Rillenkarrren* y algunas pequeñas tinajitas. Se observa localmente un despegue de lastras de modestas dimensiones, utilizadas en alguna construcción rural.

El Paco As Lianas presenta un interesante endokarst en la cavidad de Esteban Felipe. Se conoce desde principios del siglo XX, al ser abierta su boca de forma artificial en el paraje de las Grimas de Lobartas. Cuenta con más de 2000 metros topografiados en tres niveles fósiles, pero carece de un estudio geológico detallado. La cavidad alberga espeleotemas singulares, estalagmitas excéntricas y coraloides, amplias coladas estalagmíticas e importantes depósitos de arcillas rojizas. Aunque el Paco ha sido intensamente prospectado, además de esta cavidad solo ha ofrecido alguna sima de muy modestas dimensiones. Sin embargo, en el vaso del embalse de Santa María de Belsué aparecen varias dolinas, temporalmente inundadas, en el contacto entre las calizas y las margas y/o sedimentos fluviales. Se suponen conectadas con la surgencia de Cienfuens, hoy situada bajo el embalse del mismo nombre.

En el cañón del Flumen se abren varias cavidades en ambas orillas. En la izquierda, la boca de la cueva Oriñones, utilizada en el pasado como abrigo de trabajadores de las presas. En la ribera derecha, en el cortado de la Toba, se abren las cuevas del Toro y la Artica. El presente artículo se centra en esta última cavidad.

LA ARTICA

La Artica se abre en la zona superior de la formación Guara, aproximadamente a 80 metros sobre el nivel del cauce, en la vertical de la presa de Santa María de Belsué. Se accede por una grieta abierta por rotura gravitacional de una visera en la ladera, recubierta por un canchal periglacial que recubrió una entrada natural. La topografía de la cavidad se representa en la figura 2. Es una modesta cueva, prácticamente subhorizontal, con una planta que sigue las principales direcciones de fracturación. La sección real no se puede observar por la existencia de rellenos importantes. La planta presenta una sala inicial, dos galerías paralelas, más amplia la meridional, que conducen a la sala de mayores dimensiones, de la que arranca una estrecha galería que finaliza en un depósito estalagmítico. El techo de la primera sala es subhorizontal, aparentemente un plano de estratificación, donde se encuentra un protocanal meandriforme (fig. 3). En el techo de la segunda sala hay un panel formado por numerosos *pendants*, atravesado por otro tramo de protocanal. No se han encontrado huellas de corriente que den información sobre la dirección y la velocidad del agua subterránea.

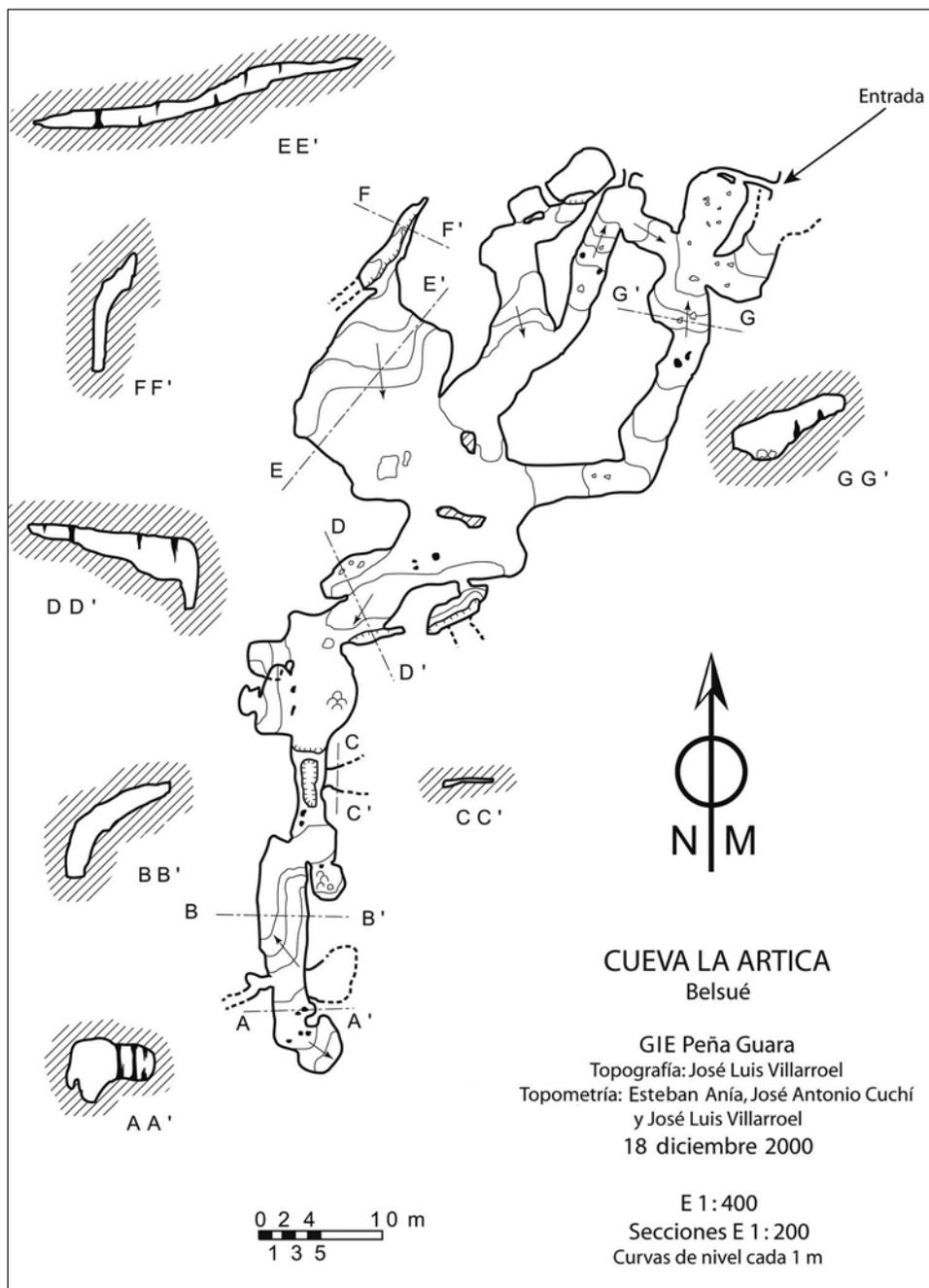


Fig. 2. Topografía de la cavidad.



Fig. 3. Protocal en el techo de la sala inicial.

La roca original que aflora en paredes y techo es de color pardo. Muestra una textura granulosa, fantasmas de microforaminíferos y algunas concreciones ferruginosas. La cavidad presenta espeleotemas en calcita blanca, en general poco espectaculares. Hay pocas columnas que alcanzan algún desarrollo en la galería interior. Algunas presentan roturas soldadas, pero las de otras parecen muy recientes. Abundan las costras estalagmíticas, algunas muy próximas al techo, que han quedado colgadas por un vaciado y posterior desarrollo de pequeñas estalactitas.

La figura 4 presenta un ejemplo de costra en un lateral de la sala principal. En general, están adosadas a las paredes, pero en la galería del fondo hay un ejemplo a media galería. La costra está rota por un descalzamiento general, que incluso produce rotura de columnas (fig. 5). El suelo muestra un encostramiento general sobre un relleno de arcilla parda, color 7,5 YR 6/4 en húmedo, que parece de origen exterior y sugiere un descenso masivo

desde la superficie por las fisuras del epikarst. La arcilla del suelo presenta abundantes carbones vegetales, probablemente relacionados con los restos arqueológicos. Localmente, en la sala grande también se observan raíces vivas. En general, el suelo está muy afectado por el pisoteo de visitantes y excavaciones incontroladas. Donde está intacto, aparece recubierto por una costra estalagmítica dura. El relleno parece haber cubierto prácticamente la cavidad. En varias zonas, el relleno se halla recubierto por estalagmitas de dimensiones centimétricas de aspecto coraloide. Por último, sobre bastantes espeleotemas aparecen pequeños cordones de sedimentos terrosos (fig. 6), a modo de pistas de gusanos, que podrían corresponder a las vermiculaciones señaladas por FORD y WILLIAMS (1989).

La presencia de los canales y *pendants* en el techo sugiere una fase freática inicial que, lógicamente, dio paso a una fase vadosa en la línea de lo indicado por WHITE (1988) y FORD y WILLIAMS (1989). Sin embargo,

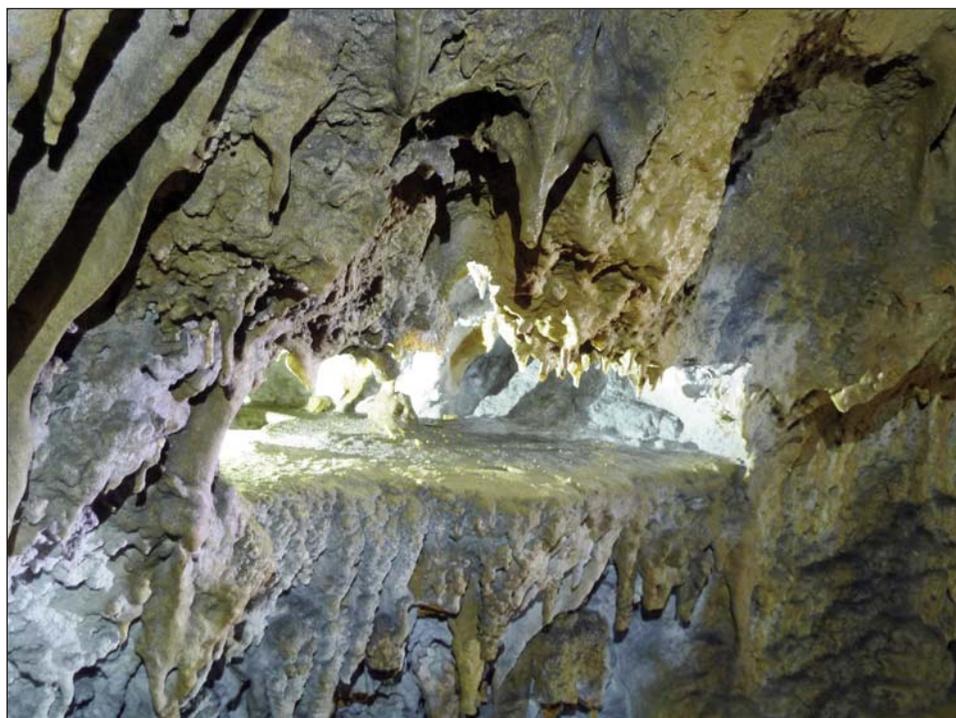


Fig. 4. Nivel de relleno en la sala principal.

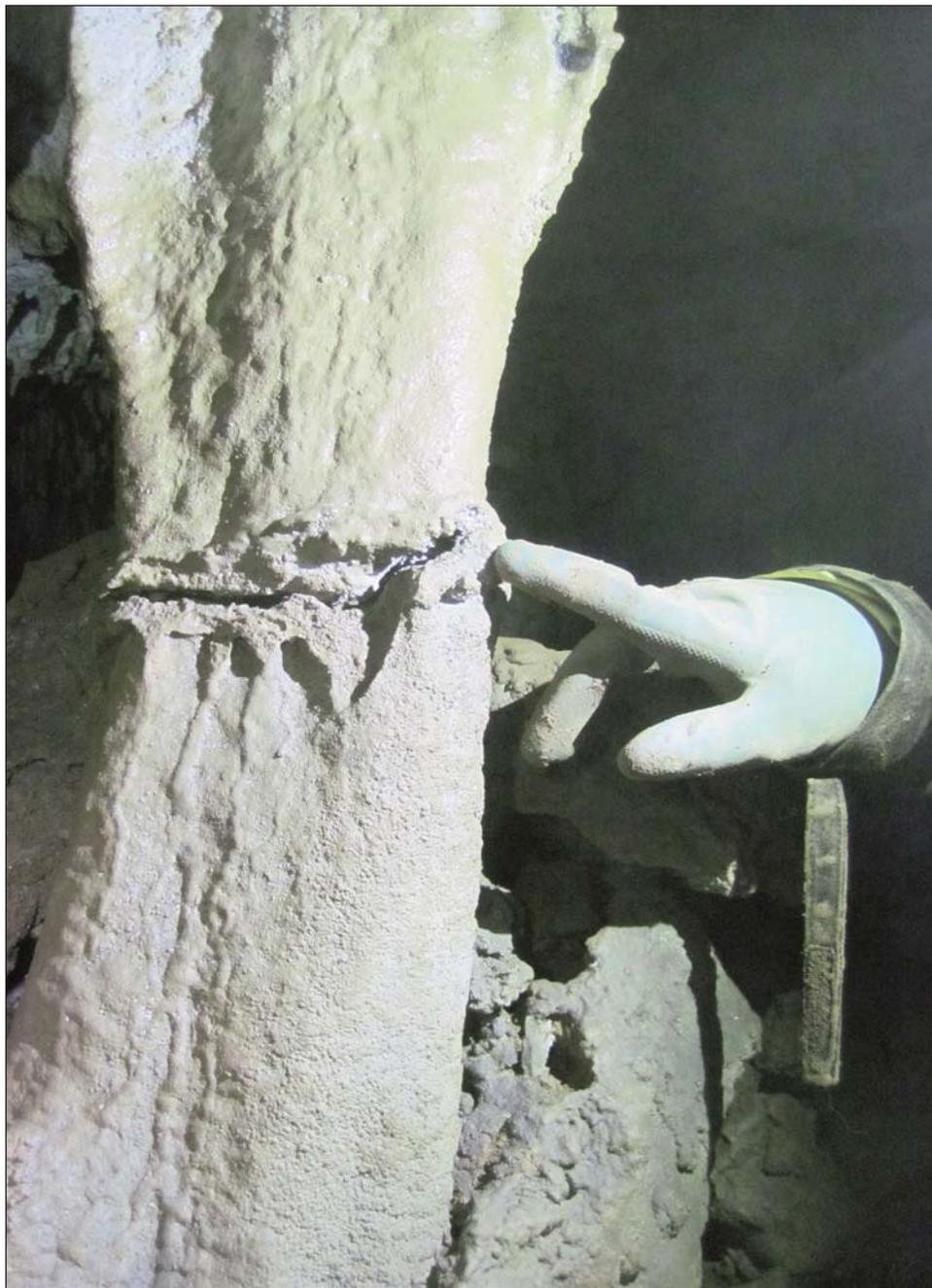


Fig. 5. Columna fracturada.

KLIMCHOUK y cols. (eds.) (2000) indican que estas formas también se pueden producir como consecuencia de un relleno casi completo de la cavidad, forzando a ascender al flujo freático y, por tanto, la disolución. El hecho de que los sedimentos, terrosos y carbonatados, sean subaéreos abona la primera hipótesis. En cualquier caso, es evidente que la Artica ha tenido una historia compleja, con varias fases de llenado por arcillas locales y formación de costras estalagmíticas, seguidas de un posterior vaciado parcial. Con el estado actual de conocimientos, poco se puede decir sobre la edad de los rellenos y pisos estalagmíticos. En todo caso, parece que el encostramiento final debió de producirse tras la Edad del Bronce, hecho compatible con los resultados de carbono 14 en la cueva Lodrica (6000 BP) y el encostramiento posterior al Neolítico observado en el relleno limoso de la vandalizada cueva de Chaves, también en la sierra de Guara.

Diversos indicios hacen pensar que el último hundimiento del suelo es reciente. Como ya se ha observado en la cercana cueva del Toro, es posible



Fig. 6. Vermiculaciones sobre espeleotemas.

que la reactivación de conductos y la socavación de depósitos kársticos se produjeran por las fugas del embalse de Santa María de Belsué hacia la surgencia principal de Cienfuens.

En la actualidad, la Artica presenta un aspecto degradado, con expolio y embarramiento de espeleotemas, pisoteo y excavación de costras, presencia de basura y aparición de algunos grafitis. Quizás por haber sido incluido entre los lugares mágicos del Alto Aragón, incluso se ha utilizado, según algunas entrevistas en diarios locales, para experiencias de tipo chamánico. Realmente, la cavidad merece una adecuada protección.

LAS INCISIONES EN EL ALTO FLUMEN

En el alto Flumen, además de las cavidades de la Artica y del Toro, es necesario reseñar la existencia de incisiones o encajamientos producidos en las calizas de Guara. El más evidente es el estrecho de Carruaca, en el barranco de Lusera. Este ha cortado varios conductos kársticos, especialmente un tubo de presión de unos 2 metros de diámetro, que queda ciego por una colada en su interior. Otra incisión menor, también activa, se encuentra en el barranco de Belsué, en el pie de Paco As Lianas. Además, hay que añadir el surco fósil de grandes dimensiones que se halla al sureste de la confluencia

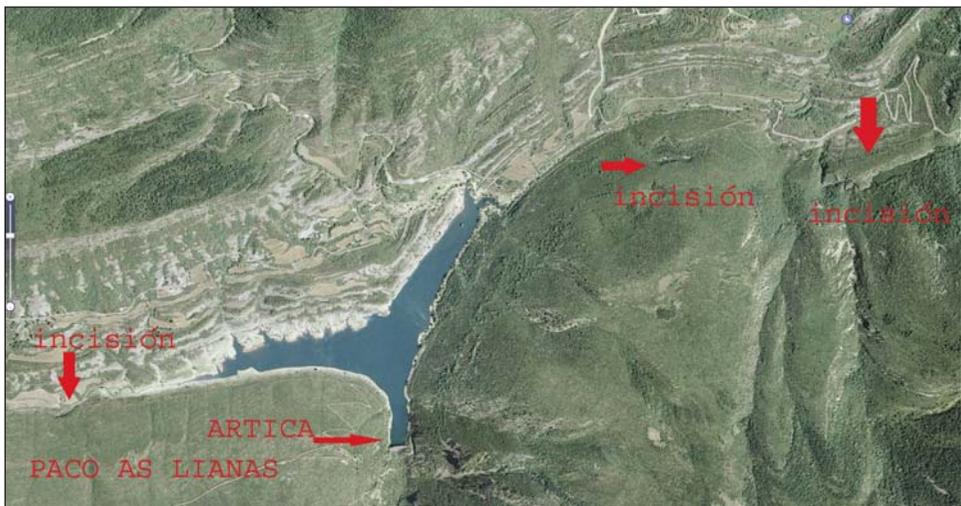


Fig. 7. Incisiones fluviales en el alto Flumen.

de Lusera y Flumen. Estas incisiones, que se muestran en la figura 7, parecen corresponder a procesos de sobreimposición, que incluso se pueden prolongar por la cabecera del barranco de Lusera, donde este corta transversalmente al anticlinal de Gabardiella. En este apartado también habría que considerar el valle seco que lleva desde Belsué a la pardina de Ascaso.

En resumen, la génesis del actual Flumen parece un proceso complejo, donde se mezclan factores muy diversos. Una hipótesis, con todas las reservas posibles, podría postular la existencia de un paleorrío paralelo a la estructura prepirenaica afluente del río Gállego, similar al actual Guarga. Este sería parcialmente capturado por el Isuela, el Botella, el Guatizalema y el Alcanadre, por erosión remontante acompañada por procesos fluvio-kársticos. Sus últimos restos serían el actual Garona de Rasal.

AGRADECIMIENTOS

Se agradecen las informaciones de Lourdes Montes, de la Universidad de Zaragoza, y de Manuel Bara y Jesús Martínez, de Peña Guara, así como la compañía de Rafael Larma y los restantes miembros del Grupo de Tecnologías en Entornos Hostiles (GTE).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANASTASIO, D., y J. HOLL (2001). Traverse fold evolution in the External Sierra, southern Pyrenees, Spain. *Journal of Structural Geology*, 23(1): 379-392.
- CASTÁN, A. (2000). *Lugares mágicos del Altoaragón*. Publicaciones y Ediciones del Alto Aragón. Huesca. 254 pp.
- CUCHÍ OTERINO, J. A., J. L. VILLARROEL y E. SALAMERO (2010). Los ríos en roca en el Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara. En J. A. Ortega y J. J. Durán (eds.), *Patrimonio geológico: los ríos en roca de la Península Ibérica*: 249-268. IGME (Serie Geología y Geofísica, 4). Madrid.
- CUCHÍ OTERINO, J. A., J. L. VILLARROEL, C. GARCÉS, J. A. MANSO, R. LARMA y J. ANGULO (2012a). Rasgos morfológicos y estado de conservación de la cueva del Toro, Belsué, Huesca. Primeros resultados. En A. González Díez y cols. (eds.), *Avances de la geomorfología en España, 2010-2012: actas de la XII Reunión Nacional de Geomorfología (Santander, 17-20 septiembre de 2012)*: 405-408. Universidad de Cantabria. Santander.
- CUCHÍ OTERINO, J. A., C. GARCÉS, J. L. VILLARROEL, R. LARMA y J. ANGULO (2012b). Vincencio Juan de Lastanosa y Lorenzo Agüesca: protoespeleólogos del siglo XVII en el Alto Aragón. En J. J. Durán y P. Robledo (eds.), *Las cuevas turísticas como activos*

- económicos: conservación e innovación*: 287-298. Asociación de Cuevas Turísticas Españolas. Madrid.
- DOMÍNGUEZ, A., M.^a Á. MAGALLÓN y M.^a P. CASADO (1984). *Carta arqueológica de Huesca*. DPH. Huesca. 288 pp.
- EGIDO, A., y J. E. LAPLANA (eds.) (2008). *Mecenazgo y Humanidades en tiempos de Lastanosa*. IFC. Zaragoza. 463 pp.
- FORD, D. C., y P. WILLIAMS (1989). *Karst Geomorphology and Hydrology*. Unwin Hyman. Winchester (Massachusetts). 601 pp.
- GIEPG (1979). Nuevo descubrimiento arqueológico en Belsué: cavidad sepulcral utilizada durante la Edad del Bronce. *Nueva España* (Huesca), 1 de septiembre: 5.
- 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.
- MILLÁN GARRIDO, H. (2006). *Estructura y cinemática del frente de cabalgamiento surpirenaico en las Sierras Exteriores aragonesas*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 53). Huesca. 398 pp., 5 mapas.
- MONTES, M. J. (2009). *Estratigrafía del Eoceno-Oligoceno de la cuenca de Jaca: sinclinatorio del Guarga*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 59) / Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de Aragón. Huesca / Zaragoza. 355 pp., 1 mapa.
- MONTES, M.^a L. (1983). *La población prehistórica durante el Neolítico y la primera Edad del Bronce en las Sierras Exteriores de la provincia de Huesca*. Tesis de licenciatura. Universidad de Zaragoza. 246 pp. y un anejo de láminas de 185 pp.
- MONTES, M.^a L. (1984). El hábitat en las sierras exteriores oscenses durante el Neo-Eneolítico: sus condicionantes. En *Arqueología espacial: coloquio sobre distribución y relaciones entre los asentamientos (27 al 29 de septiembre, Teruel, 1984)*, vol. 3 (*Del Epipaleolítico al Bronce Medio*): 77-89. Seminario de Arqueología y Etnología Turo-lense, Colegio Universitario. Teruel.
- MONTES, M.^a L., J. A. CUCHÍ y R. DOMINGO (2001). Epipaleolítico y neolítico en las sierras prepirenaicas de Aragón. Prospecciones y sondeos, 1998-2001. *Bolskan*, 17: 87-123.
- RODRÍGUEZ VIDAL, J. (1986). *Geomorfología de las Sierras Exteriores oscenses y su piedemonte*. IEA (Colección de Estudios Altoaragoneses, 4). Huesca. 172 pp., 8 mapas.
- VIDAL, O. (2010). *3D Reconstruction and Modelling of the Sierras Exteriores aragonesas (Southern Pyrenees, Spain): Structural Evolution of the Pico del Águila Anticline*. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. 297 pp.
- WHITE, W. (1988). *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*. Oxford UP. Oxford / Nueva York. 464 pp.

LA TEMPORADA DE ALUDES 2009-2010 EN EL ALTO ARAGÓN

Rocío HURTADO¹
Santiago FÁBREGAS¹
Francisco ESPEJO²
Jesús REVUELTO²
Emilio LEO³
José Antonio CUCHÍ⁴

RESUMEN.— Este trabajo se centra en la temporada invernal 2009-2010, en la que se han producido abundantes avalanchas en el Alto Aragón. Describe sus características climatológicas y resume los acontecimientos más importantes relacionados con aludes, especialmente las víctimas y algunas grandes avalanchas.

ABSTRACT.— The present paper works on the winter period 2009 / 2010 in the south central Pyrenees, where a large number of snowfalls has been produced. The paper describes the climatic characteristics of the season. Also summarizes the most important events related with snowfalls, mainly the victims and big some avalanches.

KEY WORDS.— Snowfall, Huesca (Spain).

¹ Pirinea Consultores Técnicos, S. L. Santo Grial, 4, 3.º. E-22003 HUESCA. rhurtado@pirinea.com, sfabregas@pirinea.com

² Agencia Estatal de Meteorología. Delegación Territorial en Aragón. Paseo del Canal, 17. E-50071 ZARAGOZA. fespejog@aemet.es, jrevuelto@aemet.es

³ Subdelegación del Gobierno en Huesca. Unidad de Protección Civil. Plaza de Cervantes, 1. E-22071 HUESCA. emilioa.leo@mpr.es

⁴ Escuela Politécnica Superior de Huesca. Área de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. cuchi@unizar.es

INTRODUCCIÓN

En el pasado, la nieve en el Alto Aragón se consideraba como un problema. Rara vez la población local se aventuraba en zonas nevadas, salvo en caso de extrema necesidad. Sin embargo, desde inicios del siglo XX el manto nival se ha convertido en un recurso de importancia, tanto hídrico (LÓPEZ-MORENO y GARCÍA-RUIZ, 2004) como turístico.

El transitar o vivir en un macizo montañoso nevado supone afrontar un peligro objetivo de aludes, que, combinado con la frecuentación, define el riesgo. Aunque conocido a nivel popular por los montañeses del Alto Aragón, este se hizo perceptible a nivel técnico cuando, a comienzos del siglo XX, se iniciaron las obras de la estación de ferrocarril en Arañones (Canfranc). Para paliar el riesgo, se realizaron muy importantes trabajos de protección hidrológico-forestal, quizás insuficientemente conocidos y valorados por el gran público. Información sobre estas obras puede encontrarse en SEXTA DIVISIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL (1922), MARRACO (1999), MARTÍNEZ FALERO (1946*a, b*), FÁBREGAS y FÁBREGAS (2001) y otros trabajos.

Posteriormente, desde la década de los cincuenta, la frecuentación invernal ha aumentado en la cadena pirenaica debido a la popularización del montañismo y el esquí. El desarrollo de estaciones de esquí y otras infraestructuras ha aumentado sensiblemente la presencia humana, temporal o permanente, en zona de peligro de aludes. Como consecuencia ha crecido la preocupación por este peligro y en los últimos años se han realizado diversos estudios técnicos y científicos. Véanse, por ejemplo, MUÑOZ TRIGO (1989), SÁEZ ALAGÓN (1993, 1994), LÓPEZ y MIJANGOS (1994), DGA (1996), LÓPEZ y cols. (1997), LAMPRE (1998), JULIÁN y CHUECA (1999), CANCER (2002), CUCHÍ y LEO (2004), LEO y CUCHÍ (2004), GARCÍA y cols. (2006), CUCHÍ y cols. (2008*a, b*).

Evidentemente es necesario continuar trabajando para comprender el creciente riesgo. Para ello este estudio analiza la temporada invernal 2009-2010, pródiga en avalanchas en el Alto Aragón, con una sinopsis de la meteorología y un resumen de los acontecimientos relacionados con las más importantes.

CLIMATOLOGÍA

Seguramente la clave última del comportamiento climatológico de la temporada 2009-2010 ha estado en la persistente fase negativa de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO, por sus siglas en inglés) (HURRELL y cols., 2007). En esencia, esta fase de la oscilación corresponde a una posición anómalamente baja en latitud del chorro circumpolar y sus oscilaciones asociadas, que en superficie se corresponden con el paso de frentes y depresiones. Este comportamiento ha hecho que a lo largo de toda la temporada, sobre todo desde mediados de diciembre de 2009 hasta finales de marzo de 2010, el paso de depresiones y frentes sobre el Pirineo haya sido casi constante.

En una situación normal, la cadena se ve por supuesto afectada por el paso de perturbaciones. Lo excepcional en esta temporada ha sido el número de ellas y su rápida sucesión, clave fundamental de las características peculiares del manto nivoso tipo de esta temporada. No es lo mismo que se produzca una situación persistente, por ejemplo del noroeste, que acumula precipitaciones durante varios días, que el hecho de que el paso de una borrasca tras otra genere un patrón de entrada de flujos del suroeste con precipitaciones (que en invierno y en la alta montaña pirenaica son, en su mayor parte, de nieve). Estas vienen seguidas por un brusco giro de los vientos al norte, lo que supone más precipitación al oeste de la cadena pero, sobre todo, un venteo muy importante de la nieve previamente caída. Termina con una nueva entrada del sur anterior previa a la aparición de la siguiente depresión y que produce un aumento notable de las temperaturas y el venteo de la nieve en el sentido opuesto.

Esta dinámica de sucesión de centros activos a baja latitud ha producido muchos ciclos de nevada, venteo y humectación en el manto. Dependiendo de la intensidad de unos y otros, sobre todo de la fuerza del viento y de la cuantía del calentamiento en cada episodio, habrán dominado, respectivamente, la formación de placas o la humectación, produciendo coladas y aludes superficiales de mayor o menor importancia. Por lo tanto, el resultado final ha sido un manto compuesto por muchas capas, donde apenas se han producido nevadas singulares de mucha magnitud, a diferencia de lo que sucedió en la temporada 2008-2009, con rápidas evoluciones de la nieve reciente hacia estructuras de placa o hacia fusiones superficiales. La red de observación nivometeorológica de la AEMET en el Pirineo

oscense ha detectado oscilaciones en la temperatura de la superficie del manto de nieve de hasta 13 grados en 48 horas en muchas ocasiones (de enfriamiento y calentamiento, de 0 a -13 °C y viceversa) durante esta campaña.

La temporada ha resultado, en general, relativamente fría, con anomalías térmicas de entre 1 y 1,5 °C por debajo de los valores normales. Este hecho ha favorecido que el manto pudiera alcanzar grandes espesores, al irse conservando bien las sucesivas nevadas. Las primeras nevadas de importancia, producidas hacia primeros de noviembre, se han mantenido en cotas altas (por encima de los 2500 metros) hasta el final de la temporada. Curiosamente estas nevadas del 8 y el 9 de noviembre han sido las más importantes en cantidad acumulada en 24 horas de toda la campaña: se han alcanzado o superado los 50 centímetros de nieve en casi toda la red de observación de la AEMET, cuyas altitudes están comprendidas entre los 1250 y los 2200 metros. Según las estimaciones de la Confederación Hidrográfica del Ebro, el volumen de agua almacenado en forma de nieve en los Pirineos en esta temporada ha sido similar al del año hidrológico 2008-2009. En ambos casos, casi se han llegado a doblar los valores medios de los últimos años. En cuanto a las precipitaciones, como puede desprenderse de lo anterior, también han sido superiores a las normales, aunque en este caso presentando grandes contrastes entre meses claramente húmedos, como el periodo diciembre-marzo, y otros más bien secos, como abril y mayo.

Esta conservación del manto ha producido otro interesante fenómeno. Las coladas de nieve superficial humedecida y los aludes de fusión desencadenados en los episodios de calentamiento entre depresiones no han sido en la mayoría de los casos de especial importancia, a diferencia de lo sucedido en otras campañas, como la del invierno de 2007-2008 (CUCHÍ y cols., 2008*b*). Sin embargo, la sucesión de aquellos ha ido rellenando de nieve los canales de aludes, lo que ha supuesto que las nuevas avalanchas se propagasen cada vez más lejos, como ha sucedido en los casos del valle de Benasque y del circo de Panticosa. Por otro lado, las estructuras de placa que se han generado han sido muy numerosas, tanto en la cara norte como en la sur, debido a la rápida variación del viento, y han sido la causa de numerosos accidentes e incidencias. Tanto de un caso como del otro se van a exponer ejemplos en los apartados siguientes.

La humectación (ganancia en peso por el agua líquida) de la nieve reciente sobre las estructuras de placa ha producido, en no pocas ocasiones y orientaciones (como, por ejemplo, en el valle de Ordesa a finales de febrero), roturas lineales de aludes espontáneos de placa que han afectado a las laderas enteras.

AVALANCHAS CON INCIDENCIAS

En el Pirineo altoaragonés, en la temporada 2009-2010, se han sucedido numerosas grandes avalanchas, como la que muestra la figura 1, tomada durante la Navidad de 2009 en la zona del pico Garmo Negro, en la ladera norte del circo del balneario de Panticosa. Además de las que se detallan a continuación, hay que destacar tres roturas de placas sin consecuencias graves, en diferentes días, al paso de esquiadores en la Cuesta del Fraile, en el acceso a Bachimaña desde el balneario de Panticosa.



Fig. 1. Aludes en Mallata Baja, en la zona del pico Garmo Negro, durante la Navidad de 2009. (Foto: Guardas de la Casa de Piedra de Panticosa)

Por último, en fecha desconocida, un alud destruyó el refugio de Ordiso, en el valle de Bujaruelo.

Incidentes graves

Lamentablemente se han producido varias avalanchas con víctimas mortales:

- El 9 de enero de 2010 en el Cubilar de los Bueyes, en la ladera sur del pico de Collarada (Villanúa), los hermanos Domingo y Santiago Eugui Martincorena, y su cuñado Unai Isasi Pérez, todos de Pamplona, cortaron una placa y provocaron una avalancha de 150 metros de anchura por 400 de longitud. Fallecieron por politraumatismos graves. Fueron encontrados al día siguiente por el Grupo de Rescate e Intervención en Montaña (GREIM) de la Guardia Civil, gracias a la ayuda de perros y de ARVA (Aparato de Rescate de Víctimas de Avalanchas).
- El 2 de febrero de 2010, a las 15 horas, un alud de 350 metros de longitud y 200 de anchura sepultó a Ricardo Araguás Izuel, vecino de Sabiñánigo, en el pico Canal Roya, situado en la divisoria con el valle de Ossau. Dos compañeros resultaron ilesos, aunque uno quedó semienterrado.
- Unos días más tarde, el 21 de febrero de 2010, Alfonso González Rey y Armando Nieto Lacunza, también vecinos de Pamplona, desaparecieron en el valle francés de Lescun, colindante con el término municipal de Ansó. Sus cuerpos sin vida fueron localizados el 22 de mayo en la ladera del pico Pene Blaque.
- El 19 de marzo de 2010, al mediodía, una caída de cornisa atrapó a tres montañeros que iniciaban la aproximación al corredor del Águila en Rioseta (Canfranc). Falleció Julio César Ábalos Díez, escalador madrileño. Sus dos compañeros resultaron heridos graves.
- El 10 de julio de 2010 dos vecinos de Els Pallaresos (Tarragona), Miguel Pedroche Martín, de 20 años, y Jaume Martín González, de 21 años, fallecieron por hundimiento de una cavidad existente en un nevoro, resto de un antiguo alud, en Pineta (Bielsa). Señalamos que en 2001 se produjo un muerto en la misma zona en similares circunstancias.

Incidentes menores

Han sido numerosos los aludes que han afectado a montañeros y esquiadores:

- El 7 de noviembre de 2009 el GREIM de Panticosa ayudó a seis personas, varias mal equipadas. Salieron el día anterior desde el refugio de Respomuso, a pesar de los avisos de los guardas, hacia La Sarra. A poco de partir, antes de la presa, originaron una avalancha al cortar una placa que arrastró a cinco de ellos hacia el pantano. Continuaron el descenso y vivaquearon una noche. En la tarde del día siguiente, tras llamadas telefónicas entre el refugio y la Guardia Civil, fueron localizados muy agotados cuando ya pensaban en vivaquear otra noche en el cruce del camino al collado de Soba, cerca del lugar donde cayó la avalancha que mató a seis personas en 1995.
- El 7 de diciembre de 2010 un alud provocado en Sabocos invadió las pistas de la estación de esquí de Panticosa. Sin incidencias.
- El 16 de enero de 2010, a las 12 horas, un alud provocado en el paraje Mala Cara invadió la pista Canal Roya en la estación de esquí de Astún y enterró a una persona, a la vista de muchos testigos, que fue rescatada ilesa.
- El 30 de enero de 2010 se produjo un alud de placa provocado en Tortiellas (estación de esquí de Candanchú, Aísa), a las 11 de la mañana. Dos personas se vieron implicadas, una quedó enterrada y fue rescatada con ligera hipotermia.
- El 2 de febrero de 2010 un alud fuera de pista en la estación de esquí de Candanchú fue provocado por esquiadores.
- Ese mismo día, otro alud fuera de pista en Espelunciecha, en la estación de esquí de Formigal, fue provocado por *snowboarders*. Uno quedó sepultado y rescatado con ligera hipotermia.
- El 7 de febrero de 2010 una gran avalancha de placa cayó en la Mesa de los Tres Reyes, en Lescun (Francia), muy cerca de varios grupos de esquiadores. Sin afectados.
- El 13 de febrero de 2010 un alud no provocado en el ibón de Coronas (Benasque) hirió de levedad a dos esquiadores.

- El 18 de febrero de 2010, en la estación de Cerler, fuera de pista en Águilas, un grupo de unos nueve esquiadores causó una avalancha que atrapó a uno de ellos, rescatado ileso por sus compañeros.
- El 27 de marzo de 2010 un alud no provocado en Ibones Azules (Panticosa), a primera hora de la tarde, alcanzó a cuatro esquiadores de montaña. Dos quedaron sepultados, de los que uno salió por sus medios y el otro fue localizado a los 20 minutos por sus compañeros mediante ARVA, a 1,5 metros de profundidad.
- El 31 de julio de 2010 tres montañeros vascos resultaron heridos graves al caerles encima unos bloques de nieve dura en la brecha de La Tour del pico Balaitous (Sallent de Gállego).

Cortes de carreteras

Han sido abundantes los cortes de carreteras. La más afectada ha sido la A-139, de Graus a Francia por Benasque. A las 16 horas del 23 de diciembre de 2009 el alud de Senarta, en el punto kilométrico 66, invadió unos 70 metros de carretera con 3 metros de altura, aislando a 69 personas que fueron evacuadas el día 24. La carretera fue abierta al tráfico el 27 del mismo mes. El 14 de enero de 2010 se volvió a cortar en el mismo sitio: quedaron aisladas 81 personas en los Llanos del Hospital y en el hotel Turpí hasta el día siguiente, en que se abrió la carretera. El día 18 se volvió a cortar la carretera por otro alud, dejando aisladas a 150 personas; parte de ellas fueron evacuadas a pie y la carretera se reabrió el 4 de marzo.

Una segunda carretera afectada ha sido la A-2606, de Escarrilla al balneario de Panticosa. Cortada el 19 de febrero de 2010 con evacuación de 84 personas, el 25 del mismo mes cayeron otras tres avalanchas, en Viseras (dos) y Escalar. Entre la caída de las primeras y la última se evacuó a 45 personas. También cayeron aludes en la A-138 (de Barbastro a Francia por Bielsa) y en la A-135 (de Broto a Ordesa), en el Parque Nacional. Esta última estuvo cerrada del 25 de febrero al 5 de marzo.

Grandes avalanchas

Durante toda la temporada han caído una serie de grandes avalanchas que, salvo en áreas no cuantificadas de bosque, no han producido daños

apreciables. Depósitos de aludes muy conocidos, como el de la entrada del valle de Estós, han alcanzado dimensiones considerables. Allí, al inicio de marzo, la nieve se podía tocar con la mano desde el camino de acceso al valle. A continuación se reseñan algunas avalanchas de grandes dimensiones.

La cara norte del circo del balneario de Panticosa es muy frecuentada por esquiadores de montaña (ascensión al pico Garmo Negro). Desde diciembre se produjeron grandes avalanchas. Hay que reseñar que los cortes de la carretera A-2606 están relacionados con este macizo.

Una zona poco estudiada, con importantes aludes, es la cabecera del valle de Pineta, donde en abril de 2010 se produjeron grandes avalanchas que descendieron por debajo de la pista de La Larri (fig. 2).

También se ha visto muy afectado el valle de Benasque durante toda la temporada, como atestiguan los cortes de la A-139 (fig. 3). A finales de febrero de 2010 se produjeron una serie de avalanchas en el valle del Ésera,



Fig. 2. Aludes en la cabecera de Pineta, en abril de 2010.
(Foto: Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido)



Fig. 3. Alud en Benasque desde la carretera de Cerler, el 2 de marzo de 2010.
(Foto: Pirinea)

en Cotiella, las sierras de Chía y Sahún y, sobre todo, en las Tucas de Ixeia, escarpada estribación que domina Benasque por el oeste, donde cayeron aludes por diversos canales. La más espectacular lo hizo por el barranco conocido como Sacs, Llitarra o de la Tuca del Mont y Someres, que se encuentra entre el núcleo de Benasque y la zona de escalada en las inmediaciones de la minicentral de la Ruda. La zona de salida es compleja, con cinco subcuencas, de las que funcionaron tres, y donde se observan cicatrices de rotura de placas de nieve. Se trataría de un alud de placa húmeda que pudo caer sobre depósitos de avalanchas anteriores. En la zona de llegada, fuera de la zona de innivación, ocupó parte de una zona de campos hasta el camino rural de la orilla derecha del Ésera, sin alcanzar el cauce de este río. El depósito es importante, del orden de los 95 000 metros cúbicos.

CONCLUSIONES

La temporada 2009-2010 se ha caracterizado por una rápida sucesión de perturbaciones meteorológicas activas, propias de una fase negativa de la NAO. Ello ha supuesto grandes cambios en la temperatura, giros bruscos en la dirección del viento, que casi siempre ha sido de intensidad destacable, y numerosas precipitaciones. El resultado final ha sido un manto formado por numerosas capas, siempre factor de inestabilidad, y la sucesiva formación de estructuras de placa y de humectaciones superficiales del manto que, respectivamente, han elevado el peligro de accidentes personales y colmatado progresivamente los canales de avalanchas, con aludes que cada vez han ido alcanzando mayores distancias y dimensiones.

Durante esta temporada, consecuencia de la inestabilidad del manto nival, ha aumentado la siniestralidad, con el lamentable balance de cinco víctimas mortales en el Alto Aragón, valor por encima de la media anual del periodo 1954-2003, donde hubo un total de 56 fallecidos.

La temporada se ha caracterizado también por varias grandes avalanchas. Entre ellas, la que descendió a finales de febrero de 2010 desde las Tucas de Ixeia a partir de la rotura espontánea de una placa de nieve húmeda. Su depósito supera los 95 000 metros cúbicos, un buen ejemplo de colmatación de canal por una serie de avalanchas que alcanzaban progresivamente una mayor extensión.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto SICRA (TSI-020100-2010-384). Agradecemos sus informaciones y fotografías a José Ángel y Marian Sánchez, Segis y José Antonio Martínez e Ignacio Duplá, guardas de la Casa de Piedra de Panticosa, a los GREIM de Jaca, Panticosa y Benasque, a Luis Marquina (Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido), así como a los participantes en foros de Internet (ACNA y otros). Y también a los colaboradores de la Red de Observación Nivometeorológica de la AEMET en Huesca, sin cuya dedicación sería imposible abordar no solo la predicción del peligro de avalanchas en la cadena, sino cualquier estudio científico de la nieve y los aludes en la zona.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CANCER, L. (2002). El alud de Peña Gabarda (balneario de Panticosa, Huesca) del 2 de marzo de 2001. *Investigaciones Geográficas*, 28: 129-145.
- CUCHÍ OTERINO, J. A., y E. LEO (2004). Análisis de avalanchas en el Pirineo aragonés. *Cuadernos Técnicos Barrabés*, 13: 28-31.
- CUCHÍ OTERINO, J. A., R. HURTADO, S. FÁBREGAS y C. POLO (2008a). Avalanchas de la cara norte de la sierra de Guara: primera aproximación. *Lucas Mallada*, 13: 107-120.
- CUCHÍ OTERINO, J. A., E. LEO, Ó. AGUARTA, S. FÁBREGAS, R. HURTADO, C. BETRÁN, F. ESPEJO y L. CANCER (2008b). El alud del 23 de abril de 2008 en el barranco de Las Fajas, Sallent de Gállego (Huesca). *Lucas Mallada*, 13: 93-105.
- DGA (1996). *Los aludes en el Pirineo aragonés. Planificación de la prevención y defensa*. Redactado por Naturaleza y Tecnología Aplicada, S. L. 2 tomos + 12 planos.
- FÁBREGAS, F., y S. FÁBREGAS (2001). Los ingenieros de Montes y los trabajos de defensa frente a los aludes en la provincia de Huesca. *Montes*, 65: 75-80.
- GARCÍA, J. L., J. F. ARRÁZOLA, J. A. CUCHÍ y S. FÁBREGAS (2006). La protección de poblaciones e infraestructuras contra aludes. El caso del torrente Epifanio en Canfranc (Huesca). En *III Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente (Zaragoza, 25-27 de octubre de 2006)* <http://www.ciccp.es/biblio_digital/Icitema_III/congreso/pdf/030309.pdf>.
- HURRELL, J. W., Y. KUSHNIR, G. OTTENBERG y M. VISBECK (2003). An Overview of the North Atlantic Oscillation. En J. W. Hurrell y cols. (eds.), *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact*: 1-35. American Geophysical Union (Geophysical Monograph, 134). Washington, D. C.
- JULIÁN, A., y J. CHUECA (1999). Cartografía de zonas probables de aludes en el valle de Ordesa (Pirineo aragonés). *Geographicalia*, 37: 73-86.

- LAMPRE VITALLER, F. (1998). *Estudio geomorfológico de Ballibierna (macizo de La Maladeta, Pirineo aragonés): modelado glacial y periglacial*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Zaragoza. 200 pp.
- LEO, E., y J. A. CUCHÍ OTERINO (2004). Los aludes en el Alto Aragón. *Lucas Mallada*, 11: 131-158.
- LÓPEZ, R., y J. MIJANGOS (1994). Nieve y avalanchas. *Revista de Obras Públicas*, 141 (3335): 61-74.
- LÓPEZ, R., A. SARASA y P. OLLER (1997). Caracterización, simulación y prevención de aludes en el barranco de Secrás. Túnel de Somport (Huesca). En *IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, celebrado en Granada del 11 al 14 de noviembre*: 703-717. Granada.
- LÓPEZ MORENO, J. I., y J. M. GARCÍA RUIZ (2004). Influence of snow accumulation and snowmelt on streamflow in the central Spanish Pyrenees. *Hydrological Sciences Journal / Journal des Sciences Hydrologiques*, 49(5): 787-802.
- MARRACO, S. (1999). La restauración hidrológico-forestal en el Pirineo aragonés: tres ejemplos y una conclusión. En *Ciencias y Técnicas Forestales. 150 años de aportaciones de los ingenieros de montes*: 261-270. Fundación Conde del Valle de Salazar / Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid.
- MARTÍNEZ-VALERO, V. (1946a). Trabajos realizados por la Sexta División Hidrológico-Forestal de la cuenca media del Ebro. *Montes*, 7: 9-25.
- MARTÍNEZ-VALERO, V. (1946b). Trabajos realizados por la Sexta División Hidrológico-Forestal de la cuenca media del Ebro. *Montes*, 8: 113-119.
- MUÑOZ TRIGO, P. (1989). *Prevención y defensa contra aludes. Aplicación práctica al Pirineo aragonés*. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid.
- SÁEZ ALAGÓN, M.^a T. (1993). *Memoria de la cartografía 1: 25 000 de localización de zonas probables de aludes en el cuadrante II. Hoja 144: Ansó*. ITGE. Madrid.
- SÁEZ ALAGÓN, M.^a T. (1994). *Estudio del medio físico y de sus riesgos naturales en un sector del Pirineo central*. Tomo 7: *Peligrosidad de aludes*. ITGE. Madrid. 93 pp., 6 mapas.
- SEXTA DIVISIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL (1922). *Trabajos hidrológico-forestales para la defensa del pueblo y de la Estación Internacional de Canfranc: contra los aludes y avenidas torrenciales*. Cuerpo Nacional de Ingenieros de Montes. Madrid. 35 pp.

ANÁLISIS FENÉTICO DE LOS TOMILLOS (GÉNERO *THYMUS* L., LABIATAE) DEL MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL

Luis Ángel INDA¹

RESUMEN.— En este artículo se estudian 39 taxones pertenecientes al género *Thymus* del Mediterráneo occidental, que han sido analizados fenéticamente a través de 20 caracteres (diez vegetativos, siete florales, dos polínicos y uno cariológico). El propósito de este estudio ha sido investigar la relación fenotípica entre las especies del género de acuerdo con sus caracteres cualitativos. Los datos se estudiaron con un análisis de agrupamiento (UPGMA y NJ). Los caracteres morfológicos estudiados separan claramente el género en dos grandes grupos: uno está formado por las secciones *Hyphodromi* (que incluye la sección *Micantes*) y *Serpyllum*, y el otro, por *Thymus* y *Pseudothymbra*. La sección *Mastichina* se encuentra más cercana a este segundo grupo. Los caracteres morfológicos estudiados, así como las técnicas empleadas, permiten agrupar las especies en secciones y establecer relaciones taxonómicas, aunque con algunas salvedades que se comentan.

ABSTRACT.— In the present work, the morphological relationships among 39 Western Mediterranean taxa belonging to genus *Thymus* were studied. To do so, we considered 20 qualitative characters (ten vegetative, seven floral, two pollinic and one karyological characters) that were analysed phenetically. All generated data were analysed using cluster analysis (UPGMA and NJ). The morphological characters included in the survey clearly separated the studied specimens into two groups: the first one comprises sections *Hyphodromi* (including section *Micantes*) and *Serpyllum*, whereas the other group

¹ Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural (Botánica). Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22007 HUESCA. lainda@unizar.es

includes sections *Thymus* and *Pseudothymbra*. Moreover, section *Mastichina* appears to be closer to the latter group. The morphological characters analysed, as well as the employed techniques, allowed us to group species into sections and establish taxonomic relationships, although this approach presents some problems that will be discussed.

KEY WORDS.— Thyme, *Thymus*, Labiatae, classification, phenetic analysis, Western Mediterranean.

INTRODUCCIÓN

Las plantas del género *Thymus* L. (Labiatae) son leñosas, al menos en la base. Los tallos, de sección cuadrangular o redondeada, generalmente pelosos. Las brácteas a veces son similares a las hojas caulinares y en otros casos diferentes, más anchas y coloreadas. Las flores, en general pediceladas, hermafroditas o femeninas (ginodioecia), aparecen dispuestas en verticilastros más o menos densos. El cáliz es bilabiado: el labio superior posee tres dientes triangulares más o menos agudos y el inferior está compuesto por dos dientes alesnados y ciliados. La corola, bilabiada, de acampanada a tubular, a menudo con pelos y glándulas en su superficie. Los estambres (cuatro) aparecen generalmente exertos en la antesis. El estigma es bífido y exerto (MORALES, 1986; MORALES, 2009).

Los tomillos (*Thymus*) constituyen un género ampliamente distribuido por toda Eurasia, Groenlandia y el norte de África. La mayoría de las especies que forman las ocho secciones en las que se ha dividido el género son circummediterráneas, con dos centros de diversificación importantes: la península ibérica y el noroeste de África (en el Mediterráneo occidental) y la península balcánica y Turquía (en el Mediterráneo oriental). El número de especies que habitan en el área mediterránea varía según los autores y se sitúa cerca de 100 según BOLÒS y VIGO (1996), mientras que todo el género estaría compuesto por unas 220 especies (MORALES, 2009).

JALAS (1971, 1972) dividió el género *Thymus* L. en ocho secciones: *Micantes*, *Mastichina*, *Piperella*, *Teucroides*, *Pseudothymbra*, *Thymus*, *Hyphodromi* y *Serpyllum*. División que MORALES (1986) respeta en su monografía sobre los géneros *Thymus* (excluida la sección *Serpyllum*) y *Thymbra* en la península ibérica. Esta clasificación con las especies estudiadas se muestra en la tabla I.

Tabla 1. Especies incluidas en este estudio. Clasificación sistemática basada en JALAS (1971) y MORALES (1986, 1997).

Sect. 1. <i>Mastichina</i> (Mill.) Benth.	<i>Thymus mastichina mastichina</i> (L.) L. <i>Thymus mastichina donyanae</i> Morales <i>Thymus albicans</i> Hoffmanns. & Link
Sect. 2. <i>Micantes</i> Velen.	<i>Thymus caespititius</i> Brot.
Sect. 3. <i>Piperella</i> Willk.	<i>Thymus piperella</i> L.
Sect. 5. <i>Pseudothymbra</i> Benth. Subsect. a. <i>Pseudothymbra</i> (Benth.) Morales	<i>Thymus lotocephalus</i> López & Morales <i>Thymus longiflorus</i> Boiss. <i>Thymus membranaceus</i> Boiss. <i>Thymus moroderi</i> Pau ex Mart. <i>Thymus villosus villosus</i> L. <i>Thymus villosus lusitanicus</i> (Boiss.) Cout. <i>Thymus funkii</i> Coss.
Subsect. b. <i>Anomalae</i> (Rouy) Morales	<i>Thymus antoninae</i> Rouy & Coincy
Sect. 6. <i>Thymus</i> Subsect. a. <i>Thymastra</i> (Nymann ex Velen.) Morales Subsect. b. <i>Thymus</i>	<i>Thymus camphorathus</i> Hoffmanns. & Link <i>Thymus carnosus</i> Boiss. <i>Thymus vulgaris vulgaris</i> L. <i>Thymus hyemalis</i> Lange <i>Thymus zygis zygis</i> Loefl. <i>Thymus zygis gracilis</i> (Boiss.) Morales <i>Thymus baeticus</i> Boiss. ex Lacaita <i>Thymus loscosii</i> Willk. <i>Thymus serpylloides serpylloides</i> Bory <i>Thymus serpylloides gadorensis</i> (Pau) Jalas
Sect. 7. <i>Hyphodromi</i> (A. Kern.) Halácsy Subsect. a. <i>Subbracteati</i> (Klokov) Jalas Subsect. b. <i>Serpyllastrum</i> Huguet	<i>Thymus mastigophorus</i> Lacaita <i>Thymus granatensis granatensis</i> Boiss. <i>Thymus granatensis micranthus</i> Bolòs & Vigo <i>Thymus leptophyllus leptophyllus</i> Lange <i>Thymus leptophyllus pauii</i> Morales <i>Thymus bracteatus</i> Lange ex Cutanda <i>Thymus fontqueri</i> (Jalas) Molero & Rovira

Tabla 1. (cont.)

Sect. 8. <i>Serpyllum</i> (Mill.) Benth.	
Subsect. a. <i>Insulares</i> Jalas	<i>Thymus willkommii</i> Ronninger
Subsect. d. <i>Isolepides</i>	<i>Thymus glabrescens</i> Willd.
	<i>Thymus sibthorpii</i> Bentham
Subsect. e. <i>Alternantes</i> Klokov	<i>Thymus pulegioides</i> L.
	<i>Thymus alpestris</i> Tausch ex A. Kerner
Subsect. f. <i>Pseudomarginati</i> (H. Braun ex Borbás) Jalas	<i>Thymus nervosus</i> J. Gay ex Willk.
	<i>Thymus praecox</i> Opiz
	<i>Thymus longicaulis</i> Presl.
Subsect. g. <i>Serpyllum</i>	<i>Thymus serpyllum</i> L.

Teniendo en cuenta las afinidades morfológicas de la planta y el polen, el número de cromosomas y el contenido en aceites esenciales, MORALES (1986) elaboró un esquema de las posibles relaciones entre las especies. MORALES (1986) considera el género *Thymus* como monofilético. El que especies de secciones diferentes, en zonas de convivencia, hibriden entre sí es para este autor una prueba a favor de que este género es una unidad natural de origen común que se ha diversificado, dando lugar a taxones muy diferentes.

El propósito de este trabajo es clasificar los tomillos utilizando caracteres cualitativos. Para ello se han codificado caracteres cualitativos y se han estudiado utilizando análisis de agrupamientos (*cluster analysis*) o taxonomía numérica (SNEATH y SOKAL, 1973).

La dificultad de este análisis reside en la selección de los caracteres a analizar. Idealmente se deben emplear caracteres homólogos, pero esta selección no es fácil. Por otro lado, se intentó utilizar caracteres cuya codificación fuera ausencia o presencia para facilitar el análisis. Por estos dos motivos se trata más bien de un análisis fenético: se considera el mayor número de caracteres distintos independientemente de su origen y se codifican como ausencia o presencia.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se analizaron los caracteres de 39 taxones pertenecientes a siete secciones del género, y la sección *Teucrioides* quedó sin representación. En

algunos análisis se utilizó como grupo externo *Origanum vulgare* L. (WALKER y SYTSMA, 2007).

Con los datos obtenidos de los diferentes caracteres analizados se realizó un análisis de agrupamientos (*cluster analysis*; SNEATH y SOKAL, 1973). Este análisis se basó en datos cualitativos (presencia o ausencia), se obtuvo la semejanza entre ellos y la agrupación de los taxones. Como estrategias de agrupamiento se utilizaron dos: NJ (*neighbor-joining*) (SAITOU y NEI, 1987; STUDIER y KEPPLER, 1988) y UPGMA (*unweighted pair group method with arithmetic means*). Para realizar estos análisis se utilizaron los programas informáticos NTSYSpc 2.11a (ROHLF, 2000) y PAUP v. 4.0 (SWOFFORD, 2002).

Los datos también se analizaron utilizando un método de ordenación (*análisis de coordenadas principales*, PCO), para comparar los resultados obtenidos de este análisis y los filogramas obtenidos en los análisis de agrupamientos. Este análisis se realizó utilizando NTSYSpc.

También se analizaron los datos utilizando un método parsimonioso heurístico, con el programa PAUP (SWOFFORD, 2002). La adición progresiva de taxones es de tipo aleatorio (*random*, con 1000 replicaciones). La reorganización de las ramas es bisección y reconexión (TBR).

El soporte estadístico de los agrupamientos se determinó por el método *autodocinante* (*bootstrap*; FELSENSTEIN, 1985).

Como grupo externo se ha utilizado *Origanum vulgare* tanto en el análisis de distancias (NJ) como de caracteres (parsimonia), ya que ha sido descrita como especie más cercana que *Salvia*, *Melisa*, *Satureja* o *Mentha* (WALKER y SYTSMA, 2007). No se utilizó como grupo externo *Thymbra capitata*, ya que para algún autor (JALAS, 1972) se trata de *Thymus capitatus* (L.) Hoffmanns. & Link (única especie del subgénero *Coridothymus* [Reichenb. fil.] Borbás de género *Thymus*) y para otros autores (MORALES, 1986, 2009; LÓPEZ GONZÁLEZ, 2001) se trata de un género muy diferente pero cercano.

Caracteres analizados

Los caracteres analizados y su codificación se muestran en la tabla II. Se han tenido en cuenta caracteres vegetativos (de los tallos, el hábito: 1, 2; de

las hojas, la pelosidad: 3; los cilios en la base de la hoja: 4; el margen de la hoja: 5; la forma de la hoja: 6; la nerviación de la hoja: 7); brácteas (forma: 8, 9; color: 10; presencia de cilios: 11); caracteres florales (el tipo de inflorescencia: 12; la longitud del cáliz: 13-14; la forma del cáliz: 15; los cilios en los dientes del cáliz: 16; los pelos en el cáliz: 17-19; el tamaño de la corola: 20; el color de la corola: 21-22); caracteres polínicos (la forma: 23-25; la ornamentación: 26) y el nivel de ploidía (diploide: 27; tetraploide: 28).

Tabla II. Caracteres analizados y su codificación (? = datos desconocidos).

1. Tallo postrado: no = 0; sí = 1.
2. Tallo erecto: no = 0; sí = 1.
3. Pilosidad de la hoja (en el haz o en el envés): 0 = glabra; 1 = pubescente, tomentosa.
4. Cilios en la base de la hoja: no tiene = 0; tiene = 1.
5. Margen de la hoja: plana = 0; revoluta = 1.
6. Forma de la hoja: 0 = elíptica, lanceolada, ovada o romboide; 1 = linear-espatalada o linear-lanceolada.
7. Nerviación de la hoja: un solo nervio visible = 0; nervios pinnados marcados = 1.
8. Brácteas: 0 = como las hojas caulinares; 1 = diferentes a las hojas caulinares.
9. Anchura de las brácteas: 0 = menos del doble de la anchura de las hojas; 1 = más del doble de la anchura de las hojas.
10. Color de las brácteas: 0 = no rojizo; 1 rojo, púrpura.
11. Cilios en la bráctea: 0 = sin cilios; 1 = con cilios.
12. Inflorescencia: 0 = verticilastros espiciformes; 1 = verticilastros capituliformes.
13. Longitud del cáliz, menor de 4 milímetros: no = 0; sí = 1.
14. Longitud del cáliz, 4 milímetros o mayor de 4 milímetros: no = 0; sí = 1.
15. Forma del cáliz: 0 = forma zigomorfa; 1 = forma tubular.
16. Cilios en los dientes superiores del cáliz: 0 = ausentes; 1 = presentes.
17. Pelos en el cáliz: 0 = ausentes; 1 = presentes.
18. Cáliz viloso (pelos largos): 0 = no; 1 = sí.
19. Cáliz pubescente (pelos cortos): 0 = no; 1 = sí.
20. Tamaño de la corola: 0 = más de 10 milímetros; 1 = menos de 10 milímetros.
21. Color de la corola blanco: 0 = no; 1 = sí.
22. Color de la corola crema, rosado o púrpura: 0 = no; 1 = sí.
23. Forma del polen (distancia polar / diámetro ecuatorial): 0 = subprolado; 1 = esferoidal.
24. Forma del polen, polen esferoidal-oblado: no = 0; sí = 1.
25. Forma del polen, polen esferoidal-prolado: no = 0; sí = 1.
26. Ornamentación del polen: 0 = reticulada; 1 = suprarreticulada.
27. Nivel de ploidía, diploide: 0 = no; 1 = sí.
28. Nivel de ploidía, tetraploide: 0 = no 1 = sí.

I. Tallo (1, 2)

El tallo, que puede ser más o menos leñoso, varía desde erecto hasta postrado, con posibilidades intermedias. Según JALAS (1971) la presencia de tallos reptantes es un carácter evolucionado (apomórfico). Las secciones *Mastichina* y *Pseudothymbra* son plantas erectas o más o menos erectas, las secciones *Hyphodromi* y *Serpyllum* presentan especies de hábito postrado.

Hoja

II. Pilosidad de la hoja (3)

El indumento de las hojas es muy variable. Las hay completamente glabras, como las plantas de la sección *Hyphodromi*, *Th. caespititius*, *Th. piperella* y *Thymbra capitata*, y las hay tomentosas, como *Th. mastichina* y *Th. vulgaris*. Otras especies presentan ejemplares con pelos y sin pelos, como *Th. serpylloides serpylloides* o *Th. longicaulis* y *Th. sibthorpii* (STRIP y TAN, 1986).

III. Presencia de cilios en la base de la hoja (4)

En la mayoría de las especies del género aparecen unos pelos largos, pluricelulares (cilios), dispuestos en el borde de la hoja, generalmente en la base de esta. No presentan tales cilios *Th. mastichina*, *Th. albicans*, *Th. piperella*, *Th. vulgaris* y *Th. camphorathus*.

IV. Margen de la hoja (5)

Las especies de las secciones *Mastichina* e *Hyphodromi* (a excepción de *Th. mastigophorus*), *Th. caespititius* y *Th. piperella* y la sección *Serpyllum* presentan siempre hojas planas. Las otras especies, en condiciones de sombra y humedad, pueden presentar hojas planas (ejemplo, *Th. vulgaris* y *Th. hyemalis*).

V. Forma de la hoja (6)

Presentan una hoja linear las especies de las secciones *Pseudothymbra* y *Thymus*. Las especies de la sección *Mastichina* tienen hojas de lanceoladas

a obovadas. La sección *Serpyllum* tiene plantas con hojas que varían de elípticas a lanceoladas u ovadas.

VI. Nerviación de la hoja (7)

Las especies de la sección *Hyphodromi* y, sobre todo, de la sección *Serpyllum* muestran hojas con la nerviación marcada.

VII. Forma de las brácteas (8)

Las brácteas son muy características en la sección *Pseudothymbra* (exceptuando *Th. funkii* y *Th. antoninae*). La sección *Mastichina* y algunas especies de las secciones *Thymus* (*Th. camphoratus*, *Th. baeticus*, *Th. carnosus*, *Th. hymnalis*) e *Hyphodromi* (*Th. mastigophorus*, *Th. bracteatus* y *Th. granatensis*) muestran brácteas ligeramente diferentes a las hojas. Las especies de las secciones *Micantes*, *Piperella* y *Serpyllum* muestran las brácteas como las hojas.

VIII. Anchura de las brácteas (9)

Las brácteas de la sección *Pseudothymbra* son más anchas que el doble de la anchura de sus hojas (salvo en *Th. antoninae*). Esto también sucede en *Th. carnosus* (sección *Thymus*) y *Th. granatensis* (sección *Hyphodromi*).

IX. Color de las brácteas (10)

La sección *Pseudothymbra* presenta especies con brácteas rojizas, verdes o blancas. En el resto de las secciones son verdes, aunque hay algunas excepciones, como *Th. camphoratus* (sección *Thymus*).

X. Cilios en las brácteas (11)

Este carácter no es un carácter de sección, por ejemplo *Th. willkommii* tiene cilios, pero el resto de las especies de la sección *Serpyllum* no tienen. También permite separar subespecies, por ejemplo *Th. leptophyllus leptophyllus* no tiene cilios en las brácteas, pero sí tiene *Th. leptophyllus paui*.

XI. Tipo de inflorescencia (12)

La descripción de la inflorescencia de *O. vulgare* varía desde tirso más o menos laxo de glomérulos (MORALES, 2009) a corimbos o panículas (FERNANDES y HEYWOOD, 1972). *Thymbra capitata* presenta inflorescencias capituliformes (MORALES, 2009).

Tomado de MORALES (2009), las especies de la sección *Mastichina* tienen verticilastros espiciformes variando a globosos. *Th. caespititius* tiene una inflorescencia espiciforme. La mayoría de las especies de la sección *Pseudothymbra* son capituliformes, pero no *Th. antoninae*, que muestra verticilastros separados. *Th. vulgaris* nos enseña los dos tipos de inflorescencias: *Th. vulgaris vulgaris* las tiene capituliformes y *Th. vulgaris aestivus* espiciformes. Lo mismo sucede con *Th. hyemalis*: *Th. hyemalis hyemalis* presenta inflorescencias capituliformes y *Th. hyemalis millefloris* espiciformes. La sección *Hyphodromi* tiene inflorescencias capituliformes. Finalmente, la sección *Serpyllum* tiene especies con inflorescencias capituliformes y otras espiciformes.

XII. Longitud del cáliz

Datos tomados de MORALES (1987). Los separo en dos rangos: cáliz con una longitud menor de 4 milímetros (13) y cáliz con una longitud de 4 o más milímetros (14).

Esta longitud del cáliz puede variar en las especies estudiadas entre 3 y 8 milímetros. Los cálices más cortos los presentan *Th. albicans* y algunas especies de la sección *Thymus* (*Th. baeticus*, *Th. zygis*) y de la sección *Serpyllum* (*Th. nervosus*, *Th. longicaulis*, *Th. pulegioides*). Los de mayor longitud los presentan las especies de la sección *Pseudothymbra*.

XIII. Forma del cáliz (15)

Th. mastichina, con sus dos subespecies, presenta un cáliz tubular, con dientes subiguales. El resto de las especies del género presentan un cáliz zigomorfo.

XIV. Cilios en los dientes superiores del cáliz (16)

Este carácter aparece en las especies de la sección *Mastichina* y en otras especies, pero no como carácter de sección.

XV. Pelos en el cáliz (17, 18, 19)

Este carácter es muy variable. *Th. membranaceus* o *Th. leptophyllus* presentan cálices glabros, mientras que otras especies de sus secciones sí tienen pelos; incluso es un carácter que diferencia a *Th. mastichina* subsp. *mastichina*, con pelos más largos, de *Th. mastichina* subsp. *donyanae*, con pelos más cortos.

XVI. Tamaño de la corola (20)

La longitud de la corola puede variar entre 2 y 18 milímetros. Las más largas son las de las especies de la sección *Pseudothymbra*.

XVII. Color de la corola (20, 21)

Este carácter es muy variable, no solo dentro de las especies de una sección, sino también dentro de una misma especie.

XVIII. Forma del polen (distancia polar / diámetro ecuatorial) (23, 24, 25)

Los datos se han tomado de MORALES (1986). Para dos especies de la sección *Serpyllum* (*Th. pulegioides* y *Th. serpyllum*) se ha utilizado SORSA (1966) y para *O. vulgare* se ha consultado AKYALZIN (2003).

La familia de las labiadas presenta un polen muy estable morfológicamente. Tanto *Thymus* como *Thymbra* tienen un polen hexacolpado y trice-lular (WUNDERLICH, 1967).

Aunque se trata de un único carácter (forma del polen: distancia polar / diámetro ecuatorial), se ha dividido en forma subprolada ($P / E = 1,21$) o esferoidal ($P / E = 0,90-1,03$).

La forma del polen de *Thymus* es esferoidal, variando de prolado-esferoidal a oblado-esferoidal. El polen de *Thymbra* es subprolado (SORSA, 1966; MORALES, 1986).

XIX. Ornamentación del polen (26)

Datos tomados de MORALES (1986), SORSA (1966) y AKYALZIN (2003).

En general la ornamentación de *Thymus* es reticulada, y en *Thymbra* y *Origanum* suprarreticulada.

XX. Nivel de ploidía (27, 28)

Los datos se han tomado de JALAS (1972) y MORALES (1986, 2002).

JALAS (1948) propone un número básico para el género de $x = 7$. Posteriormente (JALAS y KALEVA, 1967) proponen como número básico $x = 15$, y a partir de este se originan por disploidía los números $x = 14, 13, 12...$

No se ha tenido en cuenta la variedad en el número de cromosomas (lo más frecuente es $2n = 28, 30, 56, 60$), sino si las especies eran diploides o tetraploides (también se han descrito hexaploides). Aparecen especies tetraploides sobre todo en las secciones *Thymus* e *Hyphodromi*.

RESULTADOS

La matriz de datos obtenidos se muestra en la tabla III. Esta matriz se obtuvo de los datos bibliográficos comentados en el apartado anterior de material y métodos.

Topología obtenida

Primero se analizaron los datos de 39 taxones del género *Thymus* (tabla III). Se trata de caracteres (20) codificados como 28 variables. El análisis de distancias utilizando el método de agrupamiento UPGMA dio el fenograma de la figura 1, en el que aparecen separados dos grandes grupos: por un lado, el formado por las secciones *Piperella*, *Mastichina* y *Pseudothymbra* / *Thymus*, y por otro el formado por *Serpyllum* e *Hyphodromi* (que incluye a *Micantes*).

Tabla III. Matriz con los datos morfológicos de las especies del género *Thymus* y especies relacionadas, codificados como ausencia o presencia y datos desconocidos (?).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
<i>Origanum vulgare</i>	1	1	1	0	0	0	1	1	0	?	1	?	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0
<i>Thymbra capitata</i>	0	1	0	1	0	1	0	1	?	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0
<i>Thymus mastichina mastichina</i>	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	?	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1
<i>Thymus mastichina donyanae</i>	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	?	?	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
<i>Thymus albicans</i>	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	?	?	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0
<i>Thymus caespititius</i>	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0
<i>Thymus piperella</i>	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0
<i>Thymus lotocephalus</i>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0
<i>Thymus longiflorus</i>	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	?	?	?	?	1	1
<i>Thymus membranaceus</i>	0	1	1	1	1	1	0	1	1	?	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0
<i>Thymus moroderi</i>	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	?	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0
<i>Thymus villosus villosus</i>	0	1	0	1	1	1	0	1	1	?	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	?	?	?	?	?	?
<i>Thymus villosus lusitanicus</i>	0	1	0	1	1	1	0	1	1	?	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1
<i>Thymus funkii</i>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	?	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	?	?	?	?	1	0
<i>Thymus antoninae</i>	0	1	1	1	1	1	?	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	?	?	?	?	0	1
<i>Thymus vulgaris vulgaris</i>	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1
<i>Thymus camphorathus</i>	0	1	1	0	1	0	?	1	?	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0
<i>Thymus baeticus</i>	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1
<i>Thymus carnosus</i>	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1

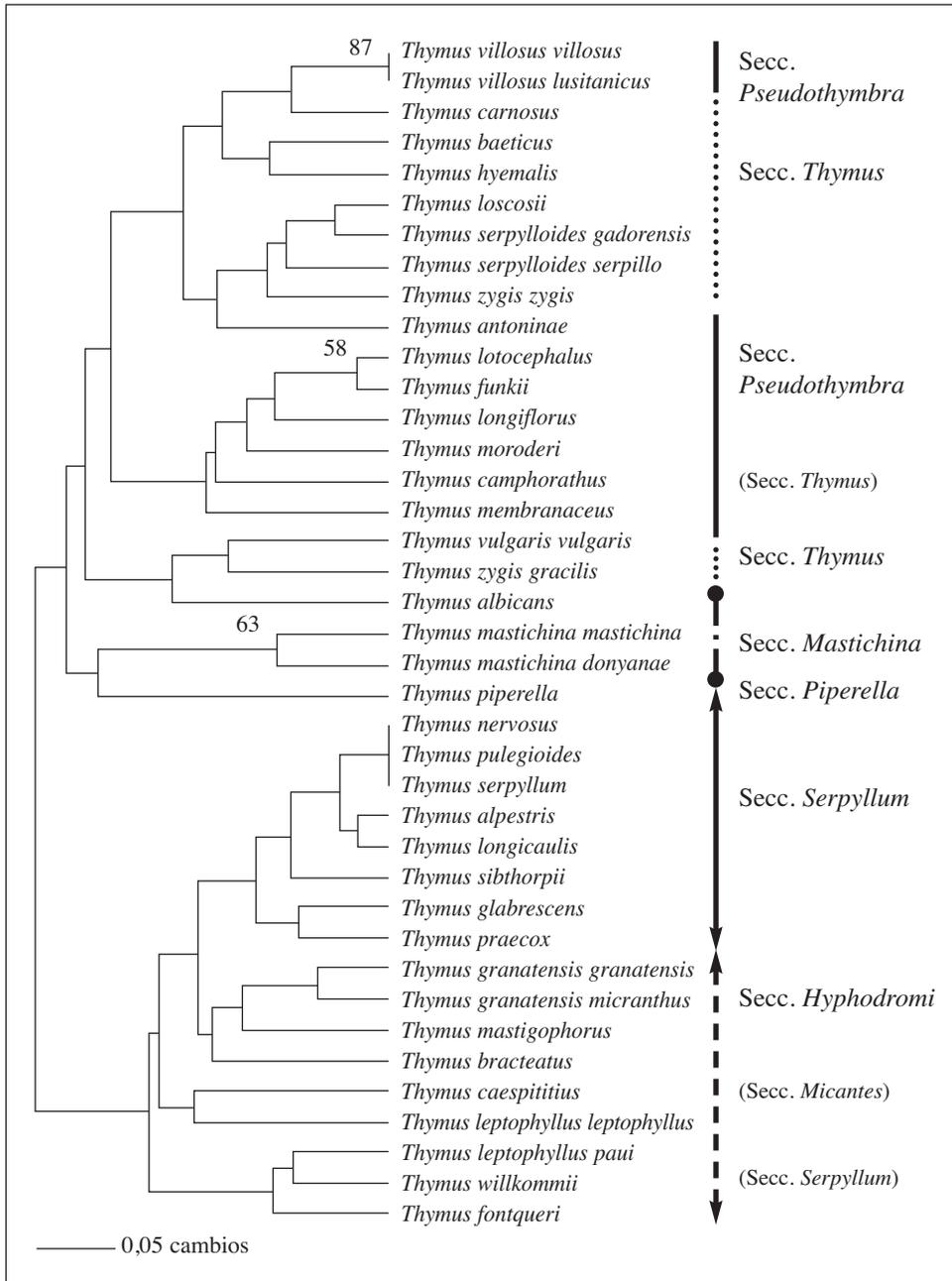


Fig. 1. Árbol obtenido mediante un método de agrupamiento UPGMA. Valor *bootstrap* sobre las ramas.

El análisis de distancias utilizando el algoritmo de agrupamiento de *neighbor-joining* dio el fenograma de la figura 2. Se utilizó como grupo externo *Origanum vulgare*. En el fenograma aparece la separación de los taxones que forman la sección *Mastichina*. Después se separan las secciones *Piperella* y *Pseudothymbra*. En un clado aparte aparece la sección *Thymus* con algunas especies de la sección *Pseudothymbra* (*Th. villosus* y *Th. antoninae*). *Thymbra capitata* aparece entre las anteriores secciones de *Pseudothymbra* y *Thymus*. En el último clado aparecen las secciones *Hyphodromi* (con *Micantes*) y *Serpyllum*.

El análisis de coordenadas principales (PCO) realizado a las 28 variables de los taxones estudiados mostró el siguiente peso para las cuatro coordenadas principales:

<i>i</i>	Valor Eigen	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	4,08	28,52	28,52
2	1,95	13,65	42,17
3	1,53	10,67	52,84
4	1,38	9,63	62,48

Las tres primeras coordenadas muestran más del 50% de la variación.

La representación de las coordenadas 1 y 2 (fig. 3) muestra tres grupos poco diferenciados: por un lado la sección *Serpyllum* y junto a ella la sección *Hyphodromi*, en posición intermedia las secciones *Piperella* y *Micantes*, y por otro las secciones *Thymus* y *Pseudothymbra*. Llama la atención cómo *Th. mastichina* se encuentra cercano a las especies de la sección *Thymus*, y *Th. camphorathus* cercano a la sección *Pseudothymbra*.

El agrupamiento de las especies de la sección *Serpyllum* muestra la gran homología entre las especies de esta sección (excepto *Th. willkommii*), pero evidencia diferencias con el resto de las secciones. Por otro lado, se muestran las especies de la sección *Mastichina*, que presentan una mayor variación de caracteres, sin reflejar una clara cercanía.

También se realizó un análisis parsimonioso heurístico (*random* con 1000 replicados / TBR), con el que se obtuvieron 683 árboles de una longitud mínima de 116 pasos. De los 28 datos variables, solo dos eran no informativos y

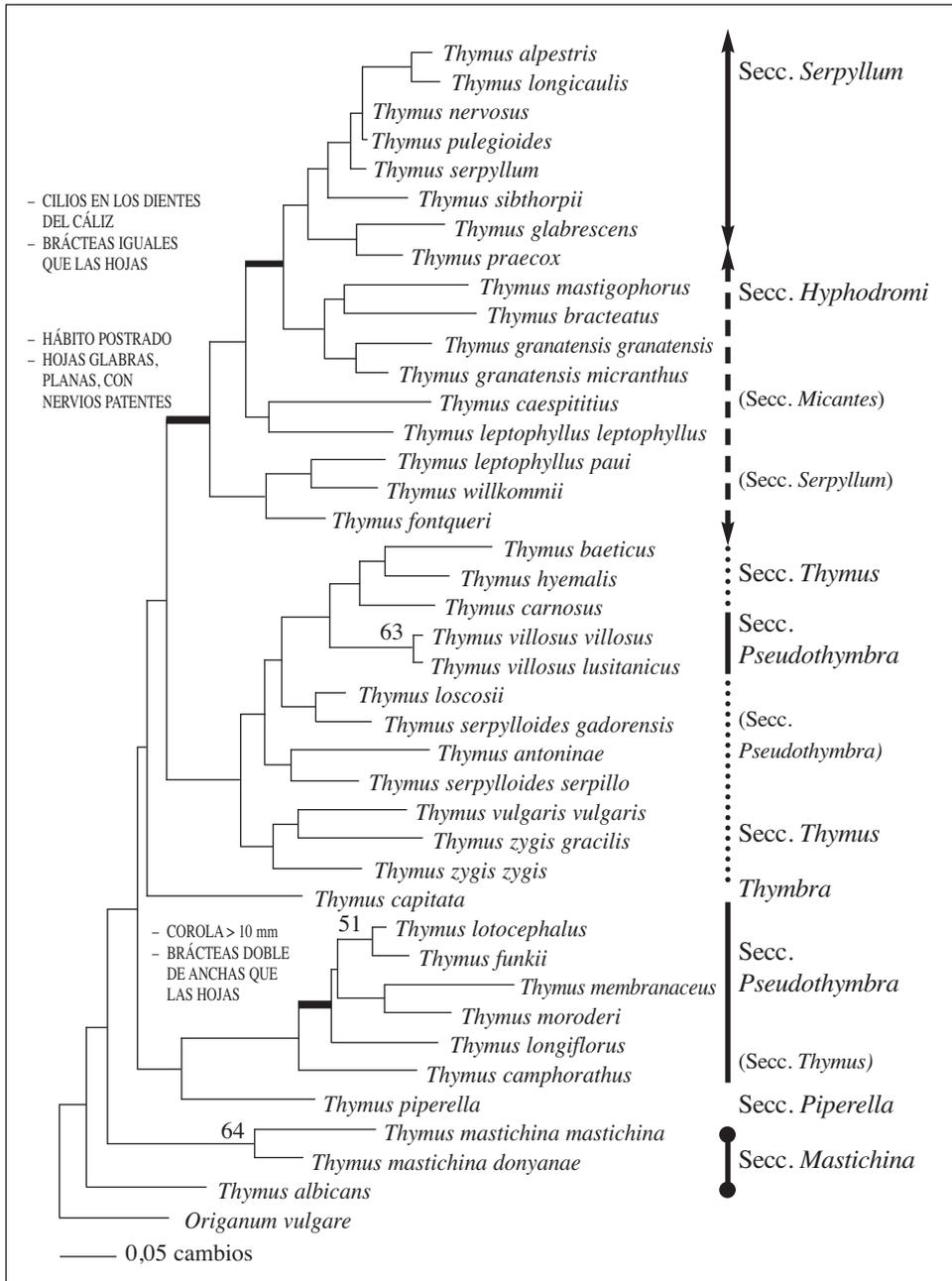
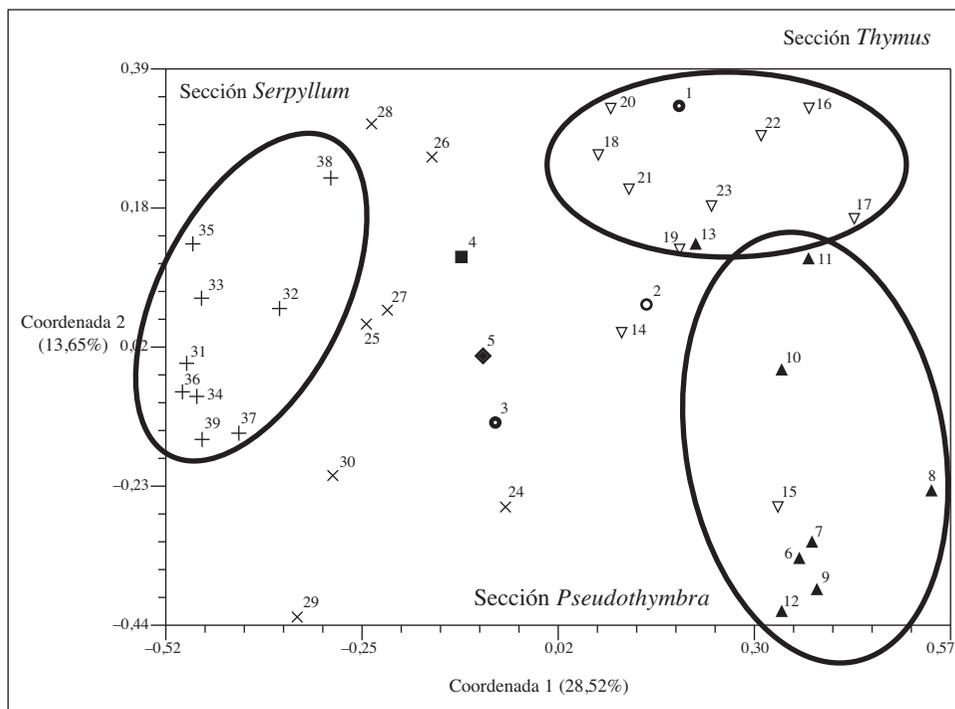


Fig. 2. Árbol obtenido mediante un método de agrupamiento *neighbor-joining*. Valor *bootstrap* sobre las ramas.



Números de las especies:

1: *Th. mastichina mastichina*, 2: *Th. mastichina donyanae*, 3: *Th. albicans*, 4: *Th. caespititius*, 5: *Th. piperella*, 6: *Th. lotocephalus*, 7: *Th. longiflorus*, 8: *Th. membranaceus*, 9: *Th. moroderi*, 10: *Th. villosus villosus*, 11: *Th. villosus lusitanicus*, 12: *Th. funkii*, 13: *Th. antoninae*, 14: *Th. vulgaris vulgaris*, 15: *Th. camphorathus*, 16: *Th. baeticus*, 17: *Th. carnosus*, 18: *Th. zygis zygis*, 19: *Th. zygis gracilis*, 20: *Th. loscosii*, 21: *Th. serpylloides serpylloides*, 22: *Th. serpylloides gadorensis*, 23: *Th. hyemalis*, 24: *Th. mastigophorus*, 25: *Th. leptophyllus leptophyllus*, 26: *Th. leptophyllus paui*, 27: *Th. bractea-tus*, 28: *Th. fontqueri*, 29: *Th. granatensis granatensis*, 30: *Th. granatensis micranthus*, 31: *Th. alpestris*, 32: *Th. glabrescens*, 33: *Th. longicaulis*, 34: *Th. nervosus*, 35: *Th. praecox*, 36: *Th. pulegioides*, 37: *Th. sibthorpii*, 38: *Th. willkommii*, 39: *Th. serpyllum*.

Fig. 3. Análisis de coordenadas principales (coordenadas 1 y 2) de los datos morfológicos de *Thymus*.

26 potencialmente informativos Los índices estadísticos de los árboles más parsimoniosos fueron CI = 0,24 y RI = 0,67. El árbol consenso estricto obtenido (figura no mostrada) no indicaba ningún agrupamiento con soporte *bootstrap*. Solamente aparecen soportadas con un bajo valor *bootstrap* las subespecies que forman *Thymus mastichina* (54%) y *Thymus villosus* (52%).

Contribución de los caracteres a la topología

En los tres tipos de análisis de agrupamientos realizados, ya fueran basados en distancias (UPGMA y NJ) o basados en caracteres (parsimonia), aparecen básicamente dos agrupamientos. Por un lado, las secciones *Thymus* y *Pseudothymbra*, con *Mastichina* y *Piperella*, y por otro *Hyphodromi* (con *Micantes*) y *Serpyllum*.

Las especies de *Mastichina* y *Piperella* son plantas erectas y tienen las hojas planas, sin cilios en la base y con forma que varía de lanceolada a obovada. Los caracteres de la hoja también sirven para diferenciar *Th. piperella* de las especies de la sección *Mastichina*: *Th. piperella* es glabra, tiene nervios marcados y en los dientes del cáliz no tiene cilios.

Las secciones *Thymus* y *Pseudothymbra* muestran varios caracteres en común, como son los cilios en la base de la hoja (a excepción de *Th. vulgaris* y *Th. camphoratus*) y que la hoja es revoluta.

En cuanto al indumento de la hoja, las especies de la sección *Thymus* son pelosas (excepto *Th. loscosii*) y en la sección *Pseudothymbra* este carácter varía dependiendo de la especie. Otra diferencia es la forma de las brácteas: en la sección *Pseudothymbra* son distintas a las hojas caulinares (no *Th. antoninae*), en la sección *Thymus* depende de la especie. También la longitud del cáliz es mayor de 4 milímetros en las especies de la sección *Pseudothymbra*. Por otra parte, ninguna especie de la sección *Thymus* presenta cilios en los dientes superiores del cáliz (a excepción de *Th. hyemalis*) y este carácter varía en la sección *Pseudothymbra*. El tamaño de la corola también diferencia a estas secciones: en la sección *Thymus* es menor de 10 milímetros y en la sección *Pseudothymbra* es mayor de 10 milímetros (salvo en las subespecies de *Th. villosus*).

Las especies de las secciones *Hyphodromi* y *Serpyllum* poseen hábito prostrado, las hojas son glabras, con cilios en la base de la hoja (a excepción de *Th. willkommii*), que es plana (no en *Th. mastigophorus*), y también presentan cilios en los dientes superiores del cáliz (excepto las subespecies de *Th. leptophyllus*).

En todas las especies de la sección *Serpyllum* las brácteas son similares a las hojas caulinares (salvo en *Th. willkommii*, en que las brácteas no presentan cilios).

DISCUSIÓN

La clasificación infragenérica utilizada por JALAS (1972) y seguida por MORALES (1986, 2009) se basa en caracteres morfológicos. Utilizando y codificando estos caracteres morfológicos y otros (como los relacionados con el polen y la ploidía), se ha construido la matriz sobre la que se han realizado los análisis de agrupamiento. Estos caracteres (hábito de la planta, margen de la hoja, nerviación, presencia de cilios, brácteas diferentes a las hojas...) sirven para caracterizar los diferentes taxones, pero no todos tienen la misma importancia. En el análisis realizado a todos los caracteres se les ha dado el mismo valor, de ahí que no se obtenga un árbol muy resuelto. La consideración de forma cualitativa (no cuantitativa) de algunos de estos caracteres, como el color o el tamaño, puede ser criticada, pero se ha estimado interesante.

Los bajos valores de *bootstrap* son debidos a los pocos cambios que se producen en el desarrollo de las ramas del árbol. Igualmente el bajo índice de consistencia en el árbol obtenido por parsimonia (y no mostrado) (0,24) es normal por el pequeño tamaño de la matriz (SANDERSON y DONOGHUE, 1989) y sugiere que hay una gran cantidad de homoplasias. Los procesos de evolución paralela y reversiones hacen que la homoplasia sea alta.

A partir de los resultados obtenidos (figs. 1 y 2) se propone un esquema de las posibles relaciones entre las secciones del género *Thymus* según los caracteres morfológicos analizados. En este estudio faltan ejemplos de especies de la sección *Teucroioides* que crecen en la península balcánica.

Las especies que aparecen en los árboles de distancias son las de las secciones *Mastichina* y *Piperella*, seguidas de *Pseudothymbra* y *Thymus* y, finalmente, el clado formado por las ramas de *Hyphodromi* (que incluye a *Micantes*) y *Serpyllum*.

Esta representación no coincide plenamente con la propuesta por MORALES (2002), hay variaciones en las ramas laterales formadas por las secciones con pocas especies. Si bien en líneas generales coincide en que la sección *Pseudothymbra* está junto a *Thymus*, e *Hyphodromi* junto a *Serpyllum*, las secciones pequeñas no coinciden en sus orígenes. Para MORALES es la sección *Micantes* la que inicialmente se separaría del resto. *Th. caespitius*

(especie estudiada de esta sección, las otras dos especies no estudiadas son norteafricanas) es una planta de distribución iberomacaronésica que se encuentra, además de en el oeste de la península ibérica, en Madeira y en las Azores. Parece ser que se trata de una especie antigua. En nuestro trabajo *Th. caespititius* aparece con la sección *Hyphodromi*, como consecuencia de sus caracteres comunes con esta sección (hojas planas, con cilios en la base de la hoja, longitud del cáliz...).

Otra discrepancia con la propuesta de MORALES (2002) es la posición de las secciones *Mastichina* y *Piperella*. Para MORALES surgen de un ancestro de la sección *Hyphodromi*. Según nuestro análisis (fig. 2), muestran caracteres muy diferentes de esta sección.

Para JALAS (1971) las formas arbustivas erguidas más leñosas son el tipo originario y los tallos reptantes es un carácter evolucionado. Así, de forma general, las secciones *Mastichina*, *Piperella* y *Pseudothybra* conservarían este carácter más primitivo que *Hyphodromi* o *Serpyllum*.

Según este mismo autor (JALAS, 1971) las hojas planas y glabras son más primitivas, y las que tienen el margen revoluto, mayor pilosidad y glándulas esenciales han evolucionado hacia una mejor adaptación a climas secos (evitando la pérdida de agua por transpiración). En este caso *Mastichina* tiene hojas planas pero pelosas; *Piperella*, *Micantes*, *Hyphodromi* y *Serpyllum*, planas y glabras, y las más evolucionadas serían *Thymus* y *Pseudothybra*. El carácter erguido del tallo y las hojas planas (o semiplanas) se pueden observar fácilmente en los géneros (externos) más cercanos al género *Thymus*, como son *Origanum* o *Thymra*.

Finalmente, otro carácter que JALAS (1971) considera más primitivo es el de tener las brácteas poco diferenciadas: son más evolucionadas las que difieren más de las hojas caulinares en forma y color para facilitar la polinización. Conservan las brácteas más parecidas a las hojas caulinares las especies de *Piperella*, *Micantes* y *Serpyllum*, y en las más evolucionadas nos encontraríamos *Mastichina* y, sobre todo, *Pseudothybra*.

Aplicando terminología cladista a la relación propuesta, la forma del polen, esferoidal y con ornamentación reticulada, sería una simplesiomorfía, que se conserva en todos los taxones del género (aunque aparecen algunas especies con ornamentación suprarreticulada).

El porte del tallo erecto podría ser un carácter conservado (plesiomórfico) en las secciones *Mastichina*, *Piperella* y *Pseudothymbra*, y derivado (apomórfico) en *Hyphodromi* y *Serpyllum*.

Respecto a la hoja, parece ser que en cuanto al carácter del margen de la hoja, el estado plano es el primitivo y el derivado compartido es el estado revoluto de las secciones *Thymus* y *Pseudothymbra*. El carácter de la pilosidad varía bastante en algunas secciones; se conserva glabro para *Hyphodromi* y *Serpyllum*, que podría tratarse de un estado homoplásico.

Las brácteas manifiestan formas diferentes a las hojas caulinares, lo que consideramos un estado más evolucionado (carácter sinapomórfico para *Pseudothymbra*), y conserva el estado más primitivo (hojas y brácteas iguales) la sección *Serpyllum*. Sin embargo, las especies próximas más cercanas (*Thymbra* y *Origanum*) tienen brácteas diferentes a las hojas.

Este análisis de caracteres morfológicos se ve resumido en los árboles obtenidos por análisis de agrupamientos (sea de distancias o de caracteres). Los análisis fenéticos tienen como misión crear grupos estables. Estas relaciones entre grupos no indican cuál es el origen de esta semejanza (SNEATH y SOKAL, 1973). En este tipo de análisis nos basamos en la idea de semejanza entre taxones y no en la semejanza que comparten con un ancestro común; se puede tratar de caracteres homólogos, pero también análogos. Al considerar ambos caracteres se pueden generar reconstrucciones erróneas. El siguiente paso en el estudio de este género puede ser su estudio filogenético.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo del Instituto de Estudios Altoaragoneses al proyecto “Sistemática de los tomillos (género *Thymus* L.) del valle del Ebro”, al que concedió una Ayuda de Investigación en el curso 2007-2008. Debo agradecer la ayuda y comentarios de Teresa Garnatje, Ernesto Pérez-Collazos y José Gabriel Segarra-Moragues.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIZPURU OIARBIDE, I., C. ASEGUINOLAZA IPARRAGUIRRE, P. M. URIBE-ECHEBARRÍA DÍAZ, P. URRUTIA URIARTE e I. ZORRAKÍN ALTUBE (2000). *Claves ilustradas de la flora del País Vasco y territorios limítrofes*. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria.

- AKYALZIN, H. (2003). Pollen morphology of *Origanum* L. (Labiatae) taxons in Turkiye. *Asian Journal of Plant Sciences*, 2: 28-41.
- BOLÒS, O. de, y J. VIGO (1996). *Flora dels Països Catalans*, vol. III. Barcino. Barcelona.
- FELSENSTEIN, J. (1985). Confidence limits on phylogenies: An approach using the bootstrap. *Evolution*, 39: 783-791.
- FERNANDES, R., y V. H. HEYWOOD (1972). *Origanum* L. En T. G. Tutin, V. H. Heywood, N. A. Burges, D. M. Moore, D. H. Valentine, S. M. Walters y A. Webb (eds.), *Flora Europaea*, vol. 3. Cambridge UP. Cambridge.
- JALAS, J. (1948). Chromosome studies in *Thymus*. I. Somatic chromosome numbers, with special reference to the *Fennoscandian forms*. *Hereditas*, 34: 414-434.
- JALAS, J. (1971). Notes on *Thymus* L. (Labiatae) in Europe I. Supraspecific classification and nomenclature. *Bot. J. Linn. Soc.*, 64(2): 199-215.
- JALAS, J. (1972). *Thymus* L. En T. G. Tutin, V. H. Heywood, N. A. Burges, D. M. Moore, D. H. Valentine, S. M. Walters y A. Webb (eds.), *Flora Europaea*, vol. 3. Cambridge UP. Cambridge.
- JALAS, J., y K. KALEVA (1967). Chromosome studies in *Thymus* L. (Labiatae). *V. Ann. Bot. Fenn.*, 4: 74-80.
- LÓPEZ GONZÁLEZ, G. A. (2001). *Los árboles y arbustos de la Península Ibérica e Islas Baleares (especies silvestres y las principales cultivadas)*. Mundi-Prensa. Madrid. 2.^a ed., corregida, 2006.
- MORALES, R. (1986). *Taxonomía de los géneros Thymus (excluida la sección Serpyllum) y Thymbra en la Península Ibérica*. Real Jardín Botánico (CSIC) (Ruizia – Monografías del Jardín Botánico de Madrid, 3). Madrid.
- MORALES, R. (1997). Synopsis of the genus *Thymus* L. in the Mediterranean area. *Lagascalia*, 19: 249-262.
- MORALES, R. (2002). The history, botany and taxonomy of the genus *Thymus*. En E. Stahl-Biskup y F. Sáez (eds.), *Thyme: The Genus Thymus*. Routledge. Londres.
- MORALES, R. (2009). 34. *Thymus* L. En S. Castroviejo (coord.), *Flora iberica*. Real Jardín Botánico (CSIC). Madrid.
- ROHLF, F. J. (2000). *NTSYSpc, Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System. Version 2.1. User Guide*. Applied Biostatistics Inc. Nueva York.
- SAITOU, N., y M. NEI (1987). The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. *Mol. Biol. Evol.*, 4(4): 406-425.
- SANDERSON, M. J., y M. J. DONOGHUE (1989). Patterns of variation in levels of homeoplasy. *Evolution*, 43: 1781-1795.
- SNEATH, P. H. E., y R. R. SOKAL (1973). *Numerical Taxonomy. The Principles and Practice of Numerical Classification*. W. H. Freeman & Co. San Francisco.

- SORSA, P. (1966). Pollen morphological studies in the genus *Thymus* L. *Ann. Bot. Fenn.*, 3: 140-146.
- STRIP, A., y K. TAN (1986). *Mountain Flora of Greece*, vol. 2: 139-165. Edinburg UP. Edimburgo.
- STUDIER, J. A., y K. J. KEPPLER (1988). A note on the neighbor-joining algorithm of Saitou and Nei. *Mol. Biol. Evol.*, 5(6): 729-731.
- SWOFFORD, D. L. (2002). *PAUP*: Phylogenetic Analysis Using Parsimony (and Others Methods) 4.0 Beta*. Sinauer, Sunderland.
- WALKER, J. B., y K. J. SYTSMA (2007). Staminal evolution in the genus *Salvia* (Lamiaceae): Molecular phylogenetic evidence for multiple origins of the staminal lever. *Annals of Botany*, 100: 375-391.
- WUNDERLICH, R. (1967). Ein Vorschlag zu einer Natürlichen Gliederung der Labiäten auf Grund der Pollenkörner, der Samenentwicklung und des reifen Samens. *Öesterr. Bot. Z.*, 114: 383-483.

ESTUDIO DE LAS CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS COMO FACTOR DE VARIACIÓN EN LOS RESULTADOS REPRODUCTIVOS DE LA INSEMINACIÓN ARTIFICIAL OVINA EN ARAGÓN

Inmaculada PALACÍN¹
Pilar SANTOLARIA¹
Jesús YÁÑIZ¹

RESUMEN.— Con el objetivo de evaluar las condiciones climáticas como posible factor de variación en los resultados de fertilidad de inseminación artificial en Aragón, se estudiaron los resultados de 17 393 inseminaciones entre 2007 y 2010 dentro del Esquema de Selección de la raza ovina Rasa Aragonesa desarrollado por la UPRA (Unión de Productores de Rasa Aragonesa) – Grupo Pastores. Se consultaron los datos climáticos de las estaciones meteorológicas más cercanas y se realizó un análisis estadístico considerando como variable dependiente la fertilidad y, como independientes, los datos de temperatura, humedad relativa, índice temperatura-humedad y precipitación. La fertilidad media global de este estudio fue del 54,5%. Dicha fertilidad se estudió en función del cuatrimestre en el que se realizó la inseminación, con medias del 50,8, 50,3 y 58,2% para el cuatrimestre de días cortos (de noviembre a febrero), el de días crecientes (de marzo a junio) y el de días decrecientes (de julio a octubre), respectivamente. No se observaron diferencias significativas entre los dos primeros cuatrimestres, pero sí con el tercero. Dentro de las variables estudiadas, la temperatura parece ser el factor que ejerce mayor influencia sobre los resultados de fertilidad en inseminación artificial, si bien deberían realizarse trabajos estadísticos más

¹ Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. ipalacin@unizar.es, psantola@unizar.es, jyaniz@unizar.es

profundos incluyendo estas variables con el fin de describir de forma independiente el efecto sobre dichos resultados. Las conclusiones obtenidas permiten establecer una serie de medidas prácticas para intentar incrementar los resultados reproductivos de inseminación artificial ovina.

ABSTRACT.— The results of 17 393 inseminations were studied between the years 2007 and 2010 in the Selection Scheme of the Rasa Aragonesa sheep breed developed by UPRA (Unión de Productores de Rasa Aragonesa – Rasa Aragonesa Producers' Union) – Grupo Pastores (Shepherds Group), with the aim of evaluating climatic conditions as a possible variation factor in the fertility results of artificial insemination in Aragon. Climatic data of the nearest weather station was consulted and a statistical analysis was carried out considering fertility as a dependent variable and data regarding temperature, relative humidity, temperature-humidity index and precipitation as independent variables. The average fertility rate of this study was of 54.5%. Fertility was studied by looking at the quarter in which insemination was carried out, with average rates of 50.8, 50.3 and 58.2 in the months with shorter days (November to February), in the months with increasing days (March to June) and decreasing days (July to October) respectively. There were no great significant differences between the first two quarters, but there was a big difference with the third one. Between the variables studied, temperature seems to be one of the factors that has most influence over fertility results in artificial insemination, although more thorough statistical investigation should be carried out including these variables with the aim of describing the effect on those results in an independent manner. The conclusions obtained allow a series of practical measures to be established in order to increase reproductive results in the artificial insemination of sheep.

KEY WORDS.— Rasa Aragonesa sheep breed, fertility results, artificial insemination, climatic conditions, Aragon (Spain).

INTRODUCCIÓN

La ganadería ovina en Aragón, y por extensión en la provincia de Huesca, ha sido tradicionalmente, y hasta la aparición de la ganadería intensificada (avicultura y porcicultura), la especie ganadera por antonomasia. Con un censo de 2 052 438 cabezas (MARM, 2010), representa algo más de un 11% a nivel nacional, y junto con Extremadura, Castilla y León, Andalucía y Castilla – La Mancha engloban el 80% del censo nacional. Si se considera únicamente la producción de carne, la importancia del ovino aragonés en España es todavía mayor.

Sin embargo, la situación económica que se viene arrastrando en los últimos años está afectando de manera considerable al sector, donde se observa un retroceso tanto en número de explotaciones como en el de efectivos desde 2007. El margen bruto por oveja ha disminuido en los últimos años principalmente por el incremento de los costes de producción (alimentación, energía, mano de obra...), que no ha venido acompañado de una mejora de los ingresos. Además, no hay que olvidar el papel que este tipo de explotación supone como fuente de asentamiento de la población rural y del mantenimiento de las condiciones agropaisajísticas y medioambientales del medio, que también se están perdiendo. De modo que la necesidad de la búsqueda de medidas y soluciones para que la explotación ovina sea rentable es imprescindible para el mantenimiento de este tipo de ganado.

El incremento del número de partos dobles en los rebaños supondría un aumento de los ingresos por oveja y año, y con ellos una mayor rentabilidad de las explotaciones. Para esto, el desarrollo de esquemas de mejora genética de la raza, enfocados en caracteres como la prolificidad (número de corderos nacidos por parto), es básico para conseguir mejores resultados productivos y económicos.

La inseminación artificial es una herramienta imprescindible como vía principal de difusión de caracteres mejorantes. Sin embargo, esta difusión se encuentra condicionada por la reducida fertilidad obtenida en la inseminación artificial en el ganado ovino. Diversos son los factores que se describen como limitantes o que pueden influir en los resultados de la inseminación (SANTOLARIA y cols., 2011). Factores inherentes a la hembra, como sus propias características anatómo-fisiológicas, la edad, la condición corporal, el intervalo transcurrido desde el último parto, días posdestete, etcétera, o factores propios de la técnica de inseminación (inseminador, dosis seminales, tratamiento hormonal, fecha de inseminación), pueden condicionar dichos resultados de fertilidad. Del mismo modo, las propias características de la explotación o las condiciones climatológicas de la zona donde se encuentra el rebaño pueden ser determinantes en los resultados finales. Temperaturas más o menos extremas, precipitación y humedad relativas son factores descritos como posibles elementos de variación en la eficiencia reproductiva.

El estudio de cómo las diferentes condiciones climatológicas de las zonas donde se localizan las explotaciones ovinas pueden repercutir sobre los resultados de fertilidad de la inseminación artificial y suponer un avance en la búsqueda de la posible explicación de la variación observada en la fertilidad de los programas de inseminación artificial. Por ello, el objetivo del presente artículo fue el de estudiar las características climatológicas como posible factor de variación en los resultados de fertilidad de inseminación artificial en las provincias de Huesca, Zaragoza y Teruel, dentro del Esquema de Selección de la raza ovina Rasa Aragonesa desarrollado por la UPRA (Unión de Productores de Rasa Aragonesa) – Grupo Pastores.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los datos utilizados en este trabajo corresponden a los reproductivos recopilados de ganaderías de la provincia de Huesca (50 explotaciones), Zaragoza (50) y Teruel (36), dentro del Esquema de Selección de la raza ovina Rasa Aragonesa gestionado por la UPRA – Grupo Pastores.

Las 17 393 inseminaciones estudiadas referían datos individualizados de cada animal (fecha de nacimiento, padre, madre, valor genético...), de las características de cada parto, si lo hubo (fecha, tipo de parto, número de corderos nacidos...), y de las características de los tratamientos sufridos por cada animal (tipo de tratamiento – sincronización, inseminación, técnico, fecha, macho de la inseminación artificial...). Las inseminaciones fueron realizadas desde 2007 hasta mediados de 2010.

Se utilizaron hembras adultas, multíparas, destetadas y con intervalo mínimo de 60 días desde la inseminación al parto anterior, sometidas en general a un ritmo de tres partos cada dos años. Previamente a la inseminación, las hembras sufrieron un tratamiento de sincronización e inducción de celos mediante esponjas vaginales, y la inseminación artificial cervical se realizó 55 ± 1 hora después de la retirada de la esponja vaginal. El semen utilizado en las inseminaciones estudiadas procedió de 72 machos de raza Rasa Aragonesa localizados en el centro de inseminación ATPSYRA (Movera, Zaragoza).

Por otra parte, se registraron los datos climatológicos de las estaciones meteorológicas más cercanas a las explotaciones estudiadas. Estos fueron

obtenidos de las bases de datos de la Agencia Estatal de Meteorología del Estado (AEMET, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente) y de la Oficina del Regante de Aragón (Gobierno de Aragón), y se consultaron un total de 71 estaciones meteorológicas. Las variables climáticas recogidas en las estaciones meteorológicas fueron datos diarios de temperatura media, máxima y mínima ($T_{med.}$, $T_{máx.}$ y $T_{mín.}$, respectivamente), humedad relativa media, máxima y mínima ($HR_{med.}$, $HR_{máx.}$, $HR_{mín.}$, respectivamente), y precipitación (P). Además de estos datos, se calculó el índice temperatura-humedad (THI), el cual relaciona en conjunto la temperatura ambiente con la humedad. Se determinó el índice THI medio ($THI_{med.}$) y el THI máximo ($THI_{máx.}$), resueltos por la siguiente ecuación (THOM, 1959; HAHN, 1969; GARCÍA-ISPIERTO y cols., 2006):

$$THI_{med.} = 0,8 \times T_{med.} + (HR_{med.} \% / 100) \times (T_{med.} - 14,4) + 46,4$$

$$THI_{máx.} = 0,8 \times T_{máx.} + (HR_{mín.} \% / 100) \times (T_{máx.} - 14,4) + 46,4$$

Debido a la fuerte influencia del fotoperiodo sobre la actividad reproductiva de la oveja, se estudió el influjo de las condiciones climáticas sobre los resultados de fertilidad de inseminación en función del cuatrimestre del año, con la finalidad de intentar eliminar la variabilidad debida al fotoperiodo. Los cuatrimestres elegidos fueron cuatrimestre de días cortos (de noviembre a febrero), de días crecientes (marzo a junio) y de días decrecientes (de julio a octubre).

El estudio estadístico se realizó mediante el modelo de c^2 , agrupando las variables climatológicas en diferentes rangos en función de las medias registradas en cada cuatrimestre. Se utilizó el paquete estadístico SPSS, versión 15.0 (SPSS Inc., Chicago, EE UU).

RESULTADOS

La fertilidad media global obtenida sobre los datos estudiados fue de un 54,5%. Esta fertilidad media varió según el mes de inseminación (fig. 1): los mejores resultados se situaron en los meses de septiembre y octubre, con fertilidades del 63,4% y del 63,3%, respectivamente. Durante los meses de julio, agosto y noviembre también se registraron valores superiores a la media, mientras en el resto de los meses se observaron resultados por debajo de la misma.

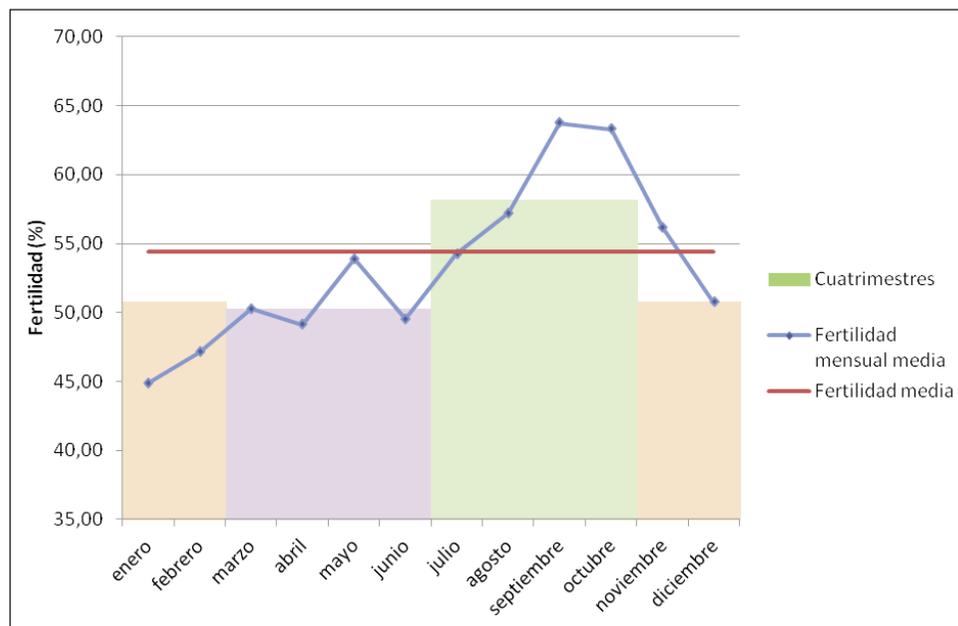


Fig. 1. Fertilidad mensual obtenida en las hembras sometidas a inseminación artificial bajo el programa de la UPRA – Grupo Pastores.

Independientemente de las condiciones climáticas, se observaron mejores resultados durante el cuatrimestre de días decrecientes (58,20%). Las diferencias fueron significativas con respecto a los otros dos cuatrimestres (50,80 y 50,30% para el de días cortos y el de días crecientes, respectivamente).

En cuanto al efecto de las condiciones climáticas, en la tabla I se muestran los resultados de fertilidad que han sido obtenidos, en los cuatrimestres estudiados, para las diferentes variables climáticas, agrupadas por rangos.

Durante el cuatrimestre de días cortos se observaron mejores resultados de fertilidad en días con T_{med} . por encima de 10 °C, con diferencias apreciables respecto al resto de los rangos estudiados. De la misma forma, se constató una mejora en los resultados reproductivos en días con $T_{mín}$. por encima de 5 °C. En este periodo no se observaron diferencias en los distintos rangos estudiados relativos a la humedad. En la relación temperatura-humedad (THI), los mejores resultados se dieron con THI medios con valores por encima de 50.

Tabla 1. Resultados de fertilidad obtenidos, en los cuatrimestres estudiados, para las diferentes variables climáticas.

	<i>Noviembre-diciembre- enero-febrero</i>		<i>Marzo-abril- mayo-junio</i>		<i>Julio-agosto- septiembre-octubre</i>	
	<i>Rangos</i>	<i>Fertilidad (%)</i>	<i>Rangos</i>	<i>Fertilidad (%)</i>	<i>Rangos</i>	<i>Fertilidad (%)</i>
Temperatura media	< 5 5-10 > 10	51,6 ^a 47,3 ^b 57,0 ^c	< 5 5-15 > 15	47,4 50,1 50,9	< 20 20-25 > 25	59,6 ^a 59,2 ^a 54,8 ^b
Temperatura máxima	< 10 10-15 > 15	48,7 51,3 53,3	< 15 15-25 > 25	47,5 51,1 50,0	< 25 25-30 30-35 > 35	60,0 ^a 62,5 ^a 54,7 ^b 56,3 ^b
Temperatura mínima	< 0 0-5 > 5	48,3 ^a 49,9 ^a 55,2 ^b	< 5 5-10 > 10	48,9 50,6 51,4	< 10 10-20 > 20	62,2 ^a 59,0 ^b 52,5 ^c
Humedad relativa media	< 70 70-80 > 80	50,1 52,2 49,2	< 60 60-65 > 65	50,0 51,5 49,4	< 50 50-60 > 60	57,8 ^{ab} 56,0 ^a 60,2 ^b
Humedad relativa máxima	< 90 90-95 > 95	51,5 50,3 50,4	< 85 85-95 > 95	52,9 ^a 47,0 ^b 51,7 ^a	< 75 75-90 > 90	55,2 ^a 58,8 ^b 60,1 ^b
Humedad relativa mínima	< 45 45-60 > 60	50,3 51,1 50,8	< 30 30-40 > 40	49,5 51,4 49,7	< 25 25-35 > 35	60,4 ^a 54,9 ^b 59,3 ^a
THI medio	< 45 45-50 > 50	50,7 ^a 46,6 ^b 55,2 ^c	< 55 55-60 > 60	48,7 50,7 51,7	< 70 70-75 > 75	60,9 ^a 56,4 ^b 54,6 ^b
THI máximo	< 50 50-55 > 55	50,1 ^{ab} 48,3 ^a 52,9 ^b	< 65 65-70 > 70	48,8 52,6 50,4	< 75 75-80 > 80	59,8 ^a 57,7 ^{ab} 56,0 ^b

Letras distintas indican diferencias significativas de fertilidad dentro del periodo de estudio ($p < 0,05$).

THI: índice temperatura-humedad.

En el caso del cuatrimestre de días crecientes, no se encontraron diferencias notables en las distintas variables climáticas estudiadas, excepto para la HR_{máx.} en el rango del 85-95%.

Por lo que se refiere al cuatrimestre de días decrecientes, en la variable de temperatura se observó un descenso significativo de la fertilidad en valores de T_{med} . por encima de 25 °C, con $T_{máx.}$ superiores a 35 °C y $T_{mín.}$ para rangos superiores a 20 °C. En cuanto a la HR, para la HR_{med} se observaron diferencias estadísticamente importantes, aunque su explicación resulta dificultosa, excepto para la $HR_{máx.}$, donde se aprecia un incremento de la fertilidad con valores superiores al 75%. Respecto a los valores del índice THI, se observaron diferencias significativas entre valores superiores a THI_{med} . de 70 y valores inferiores a 70. Para el índice $THI_{máx.}$ observamos que los resultados obtenidos en el rango 75-85 fueron similares a los del de < 75.

Por último, y en relación con la variable precipitación, no se encontraron diferencias relevantes en la fertilidad de los días en que no existió precipitación en el cuatrimestre de días cortos (51,7%), frente a aquellos en que sí la hubo (49,2%), ni en el de días crecientes (51,7%, frente al 49,5%). En el cuatrimestre de días decrecientes, sí existieron diferencias notables en esta variable, con una fertilidad máxima del 62,7% para los días en los que hubo precipitación respecto a una fertilidad del 57,3% en los días en que no la hubo.

DISCUSIÓN

En el estudio realizado se obtuvo una fertilidad media global del 54,5% durante los tres años y medio de análisis. Resultados inferiores a esta media se han descrito en otros programas de inseminación dentro de esquemas de selección en nuestro país, como resultados de la raza Churra, con fertilidades medias del 39,5% (ANEL y cols., 2005), o el de la raza Manchega, con una fertilidad media del 40,4% (MAGRAMA, 2011). Sin embargo, estas razas mantienen una selección genética orientada a la producción láctea, por lo que se observan resultados de fertilidad a la inseminación inferiores a los del ovino de carne.

Muchos son los factores descritos que pueden ejercer un efecto sobre la eficiencia reproductiva relacionada con la inseminación artificial (SANTOLARIA y cols., 2011). Factores climáticos como la temperatura y la humedad relativa, estudiados como estrés térmico y su efecto sobre la eficiencia reproductiva en la inseminación artificial, han sido ampliamente analizados

en otras especies de interés zootécnico como el vacuno de leche (DE REN-
SIS y SCARAMUZZI, 2003; CHEBEL y cols., 2004; GARCÍA-ISPIERTO y cols.,
2007; SANTOLARIA y cols., 2010). En la especie ovina, el calor por altas
temperaturas sí se ha descrito como causa de un deterioro importante de las
funciones reproductivas (MARAI y cols., 2007), efecto que se agrava cuando
el estrés por calor viene acompañado por una elevada humedad (MARAI y
cols., 2007). Sin embargo, ningún estudio de ganado ovino parece profun-
dizar en el análisis de los efectos de las condiciones climáticas sobre la fer-
tilidad en la inseminación artificial de la oveja.

El mayor problema en el ganado ovino es que no resulta fácil estudiar
estos efectos, ya que el fotoperiodo juega un papel muy importante en la
eficiencia reproductiva, de manera que es difícil disociar ambos factores.
En las ovejas, el fotoperiodo tiene una gran repercusión en la actividad ová-
rica. La melatonina, hormona producida en la epífisis durante las horas de
oscuridad, reactiva la producción de gonadotropinas ováricas. Así, cuando
la duración de los días se acorta, la producción de melatonina aumenta
(KENNAWAY y cols., 1983; ROBINSON y KARSCH, 1987). Esta hormona se con-
sidera el transductor de las variaciones fotoperiódicas en cambios endocri-
nos que definen el paso del periodo de anoestro al de actividad ovulatoria
(ROBINSON y KARSCH, 1987). Esta estacionalidad reproductiva característi-
ca de la especie ovina es menos marcada en latitudes como la de nuestro
país, donde las diferencias fotoperiódicas, es decir, entre horas de luz y de
oscuridad en el día, son menos significativas que en relación con otras loca-
lizaciones geográficas.

En este trabajo se han observado mejores resultados durante el cuatri-
mestre de julio a octubre, en el que la fertilidad media es del 58,20%, meses
caracterizados por días decrecientes en horas de luz. Peores resultados se
obtuvieron durante el periodo de días crecientes (marzo a junio), caracteri-
zado por una disminución de la eficiencia reproductiva en la raza Rasa Ara-
gonesa (LÓPEZ SEBASTIÁN, 1989), si bien en esta raza la inactividad sexual
durante el anoestro estacionario es menos marcada que en otras (FORCADA
y cols., 1992). Durante los meses de noviembre, diciembre, enero y febre-
ro se obtuvieron similares resultados a los de días crecientes, siendo estos
meses de días cortos considerados dentro del periodo de la actividad repro-
ductiva de esta raza (LÓPEZ SEBASTIÁN, 1989).

Por el contrario, ANEL y cols. (2005), para ovejas de raza Churra, obtuvieron los mejores resultados en los meses de septiembre a enero y los peores para el periodo julio-agosto. Estos autores sugieren las altas temperaturas como posible factor de disminución de los resultados durante esos meses. Para la raza Manchega, durante el año 2010 se describen fertilidades máximas del 46,4 y 51,3% para los meses de octubre y noviembre, respectivamente, y se registra en julio la fertilidad más baja, el 35,7% (MAGRAMA, 2011).

En nuestro caso, en el estudio de los resultados globales entre temperatura y su efecto sobre los de la fertilidad no se aprecian diferencias claras, si bien los mejores resultados se observaron en el rango de temperaturas medias de entre 15 y 25 °C. Sin embargo, en el estudio en función del momento del año, durante los meses de julio, agosto, septiembre y octubre sí es posible que exista un efecto del estrés térmico, puesto que temperaturas máximas superiores a los 30 °C parecen reducir los resultados de fertilidad.

Las altas temperaturas ambientales de los meses de verano han sido descritas como limitantes sobre la actividad sexual (JAINUDEN y HAFEZ, 1987). En el caso de la oveja, la exposición a altas temperaturas puede dar lugar a alteraciones reproductivas, como un retraso en la edad de la pubertad o la reducción de las manifestaciones del celo, que afectarían a la ovulación y a la fertilidad (CASU y cols., 1991; HABEEB y cols., 1992). En el ovino de carne se describen temperaturas de entre 6 y 22 °C y entre 18 y 30 °C, dentro de la zona de termoneutralidad para ovejas vacías y gestantes con o sin vellón, respectivamente (BUXADÉ, 1998), con alteración en las funciones fisiológicas y metabólicas fuera de esos rangos (ALTMAN y DITTMER, 1966; YOUSEF, 1985).

En cuanto a las bajas temperaturas, se han descrito mejores mecanismos de adaptación a esta situación, especialmente si los animales disponen de suficiente alimento. En nuestro trabajo, durante los meses de menores temperaturas (noviembre, diciembre, enero y febrero), en los que los animales suelen estar estabulados y alimentados con concentrados, se observó que temperaturas medias por debajo de los 10 °C afectaron de forma negativa a los resultados de fertilidad. Los obtenidos durante este periodo de actividad reproductiva, similares a los conseguidos en un periodo de días crecientes (anoestro), pueden ser consecuencia de la influencia negativa de estos rangos de temperaturas por debajo de los 10 °C sobre la fertilidad.

Durante los meses de marzo, abril, mayo y junio no se observaron efectos claros de la temperatura ni tampoco del resto de variables estudiadas sobre los resultados de la fertilidad. Valores menos extremos, dentro de los límites de los rangos de confort para la oveja, pudieron limitar el efecto de las variables sobre los resultados.

No solo la temperatura puede afectar a la productividad de los animales. La humedad relativa y la propia interacción con la temperatura son factores a tener en cuenta. Diversos estudios determinan que las altas temperaturas, acompañadas de humedades altas, dan lugar a problemas en el rendimiento final de los animales (SHELTON, 2000).

En el análisis global, humedades relativas medias por debajo del 55% parecen favorecer la eficiencia reproductiva de la inseminación artificial, sin existir diferencias claras en el estudio por cuatrimestres. En su relación con la temperatura (índice THI), valores medios entre 60-70 y máximos superiores a 65 parecen favorecer los resultados finales de inseminación, si bien, y observando su distribución por cuatrimestres, valores medios por encima de 70 y superiores a 80 ejercen un efecto negativo sobre ella.

En un estudio en vacuno lechero de raza Holstein Frisona (SANTOLARIA y cols., 2010) se describen disminuciones de la fertilidad con valores de THI por encima de 85. Valores del índice THI por encima de 72 suponen una situación de estrés térmico (JOHNSON y cols., 1962), con sus subsiguientes implicaciones fisiológicas. Del mismo modo, otros autores (GARCÍA-ISPIERTO y cols., 2006) han mostrado que índices THI superiores a 70 se asocian claramente a un aumento significativo de las pérdidas embrionarias durante el primer mes de gestación.

Otra variable climatológica estudiada fue la precipitación. ARREBOLA y cols. (2009) observaron un efecto de la precipitación anual sobre los resultados reproductivos con monta natural en la raza Merina, y relacionaron esta con el grado de alimentación por el efecto indirecto de las precipitaciones sobre la producción de forrajes y, por tanto, con el mayor o menor grado de disponibilidad de pastos. Por la metodología de este trabajo este efecto a largo plazo no se consideró, si bien los resultados mostraron diferencias notables a favor de los días en que hubo precipitación durante los meses de julio, agosto, septiembre y octubre. La lluvia pudo ejercer un efecto más directo sobre el animal, favoreciendo la disipación

de calor mediante la evaporación y haciendo disminuir el estrés térmico en un ambiente cálido.

Si bien se ha abordado su influencia sobre la hembra, no hay que olvidar que las condiciones climáticas pueden condicionar también el aspecto reproductivo del macho. En relación con la inseminación artificial, la calidad seminal puede verse mermada en situaciones de condiciones climatológicas estresantes. VEGA y cols. (2007) observaron que el efecto de altas temperaturas a medio plazo afecta negativamente a la calidad del semen de moruecos de la raza Rasa Aragonesa, lo que se ha visto también en el ganado vacuno (MEYERHOEFFER y cols., 1985; FUERST-WALTL y cols., 2006) y porcino (MALMGREN y LARSSON, 1989). Además, se debe tener en cuenta que el efecto de las condiciones climáticas sobre la calidad seminal, no solo el día de la recogida del semen, puede alterar la calidad seminal en cualquier momento durante la espermatogénesis y la maduración epididimaria, periodo que en el macho tiene una duración de 45 días.

CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS

Con los resultados observados y bajo las condiciones de este estudio, la temperatura parece ser el factor que puede ejercer mayor influencia sobre los resultados de fertilidad en la inseminación artificial. Temperaturas medias superiores a los 25 °C parecen disminuir la eficacia reproductiva de la inseminación artificial durante los primeros meses de días decrecientes (julio, agosto, septiembre y octubre), mientras que durante los meses de días cortos (noviembre, diciembre, enero y febrero) son las temperaturas por debajo de los 10 °C las que influyen de forma negativa. Por ello, si la inseminación tiene lugar en días con temperaturas extremas se deberán establecer medidas paliativas para el calor, como evitar el movimiento de los animales para algún tipo de manejo (pastoreo, cambio de alojamiento...), especialmente en horas de máximas temperaturas, o realizarlo en los momentos más frescos del día, así como proporcionarles zonas de sombra en los parques exteriores de las explotaciones, favorecer la disipación del calor del animal con una humedad relativa y ventilación adecuada en zonas cerradas, evitar una carga elevada de animales estabulados o disponer de agua fresca para ellos.

Por otra parte, y aunque parece que el ganado ovino se adapta mejor al frío que al calor, durante periodos de bajas temperaturas se debería limitar el número de inseminaciones, puesto que se han observado peores resultados. En el caso de la realización de las inseminaciones durante periodos de bajas temperaturas, se debería estabular a los animales, proporcionando un adecuado confort ambiental en cuanto a temperatura y humedad, evitando las salidas al exterior y manteniendo las camas secas.

En cualquier caso, trabajos estadísticos más profundos, incluyendo las variables climatológicas de temperaturas, humedad relativa, índice temperatura-humedad y precipitación, deberían realizarse con el fin de describir de forma independiente el efecto de las variables climatológicas sobre los resultados de fertilidad de la inseminación artificial.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias a la concesión de una Ayuda de Investigación del Instituto de Estudios Altoaragoneses en la convocatoria de 2011. Agradecemos, asimismo, la colaboración de la UPRA (Unión de Productores de Rasa Aragonesa), del Grupo Pastores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTMAN, P. L., y D. S. DITTMER (eds.) (1966). *Environmental Biology*. Federation of American Societies for Experimental Biology Bethesda. Maryland.
- ANEL, L., M. KAABI, B. ABROUG, M. ÁLVAREZ, E. ANEL, J. C. BOIXO, L. F. DE LA FUENTE y P. DE PAZ (2005). Factors influencing the success of vaginal and laparoscopic artificial insemination in churra ewes: a field assay. *Theriogenology*, 63: 1235-1247.
- ARREBOLA, F. A., J.-A. ABECIA, F. FORCADA, A. GARCÍA, R. A. MARTÍN y O. MESA (2009). Effects of annual rainfall and farm on lamb production after treatment with melatonin implants in Merino sheep: A 4-year study. *New Zealand Veterinary Journal*, 57: 141-145.
- BUXADÉ, C. (1998). *Ovino de carne: aspectos claves*. Mundi-Prensa. Madrid.
- CASU, S., P. CAPPAI y S. NAITONA (1991). Effects of high temperature on reproduction in small ruminants. En B. Ronchi, A. Nardone y J. G. Boyazoglu (eds.), *Animal Husbandry in Warm Climates*. EAAP Publication, 55: 103-111.
- CHEBEL, R. C., J. E. P. SANTOS, J. P. REYNOLDS, R. L. A. CERRI, S. O. JUCHEM y M. OVERTON (2004). Factors affecting conception rate after artificial insemination and pregnancy loss in lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 84: 239-255.

- DE RENSIS, F., y R. J. SCARAMUZZI (2003). Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow—a review. *Theriogenology*, 60: 1139-1151.
- FORCADA, F., J.-A. ABECIA e I. SIERRA (1992). Seasonal-changes in estrus activity and ovulation rate in Rasa-Aragonesa ewes maintained at 2 different body condition levels. *Small Ruminant Research*, 8: 313-324.
- FUERST-WAHL, B., H. SCHWARZENBACHER, C. PERNER y J. SOLKNER (2006). Effects of age and environmental factors on semen production and semen quality of Austrian Simmental bulls. *Animal Reproduction Science*, 95: 27-37.
- GARCÍA-ISPIERTO, I., F. LÓPEZ-GATIUS, G. BECH-SABAT, P. SANTOLARIA, J. L. YANIZ, C. NOGAREDA, F. DE RENSIS y M. LÓPEZ-BÉJAR (2007). Climate factors affecting conception rate of high producing dairy cows in northeastern Spain. *Theriogenology*, 67: 1379-1385.
- GARCÍA-ISPIERTO, I., F. LÓPEZ-GATIUS, P. SANTOLARIA, J. L. YANIZ, C. NOGAREDA, M. LÓPEZ-BÉJAR y F. DE RENSIS (2006). Relationship between heat stress during the peri-implantation period and early fetal loss in dairy cattle. *Theriogenology*, 65: 799-807.
- HABEEB, A. A., I. F. M. MARAI y T. H. KAMAL (1992). Heat stress. En C. Phillips y D. Piggens (eds.), *Farm animals and the environment: 27-47*. CAB International. Wallingford, Oxon.
- HAHN, L. (1969). Predicted versus Measured Production Differences Using Summer Air Conditioning for Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 52: 800-802.
- JAINUDEN, M. R., y E. S. E. HAFEZ (1987). Sheep and goats. En E. S. E. Hafez (ed.), *Reproduction in farm animals*. 5.^a ed. LEA & Febiger. Filadelfia.
- JOHNSON, H. D., A. C. RAGSDALE, I. L. BERRY y M. D. SHANKLIN (1962). Effect of various temperature–humidity combinations on milk production of Holstein cattle. *Missour. Agric. Exp. Stn. Res. Bull.*, 791: 1-39.
- KENNAWAY, D. J., L. M. SANFORD, B. GODFREY y H. G. FRIESEN (1983). Patterns of progesterone, melatonin and prolactin secretion in ewes maintained in 4 different photoperiods. *Journal of Endocrinology*, 97: 229-242.
- LÓPEZ SEBASTIÁN, A. (1989). Pubertad. Factores que modifican su desencadenamiento. *Ovis*, 1: 11-25.
- MAGRAMA (2011). *Memoria del programa de mejora de la raza ovina Manchega durante el año 2011*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria / Junta de Comunidades de Castilla – La Mancha, Consejería de Agricultura. Madrid.
- MALMGREN, L., y K. LARSSON (1989). Experimentally induced testicular alterations in boars. Histological and ultrastructural findings. *Journal of Veterinary Medicine Series a-Zentralblatt Fur Veterinarmedizin Reihe a-Physiology Pathology Clinical Medicine*, 36: 3-14.

- MARAI, I. F. M., A. A. EL-DARAWANY, A. FADIEL y M. A. M. ABDEL-HAFEZ (2007). Physiological traits as affected by heat stress in sheep-A review. *Small Ruminant Research*, 71: 1-12.
- MARM (2010). *Resultados de las Encuesta Nacional Ganaderas de Ovino-Caprino de Noviembre 2010*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Secretaría General Técnica, Subdirección General de Estadística. Madrid.
- MEYERHOEFFER, D. C., R. P. WETTEMANN, S. W. COLEMAN y M. E. WELLS (1985). Reproductive criteria of beef bulls during and after exposure to increased ambient-temperature. *Journal of Animal Science*, 60: 352-357.
- ROBINSON, J. E., y F. J. KARSCH (1987). Photoperiodic history and a changing melatonin pattern can determine the neuroendocrine response of the ewe to daylength. *Journal of Reproduction and Fertility*, 80: 159-165.
- SANTOLARIA, P., F. LÓPEZ-GATIUS, I. GARCÍA-ISPIERTO, G. BECH-SABAT, E. ANGULO, T. CARRETERO, J. SÁNCHEZ-NADAL y J. YANIZ (2010). Effects of cumulative stressful and acute variation episodes of farm climate conditions on late embryo/early fetal loss in high producing dairy cows. *International Journal of Biometeorology*, 54: 93-98.
- SANTOLARIA, P., I. PALACÍN y J. L. YANIZ (2011). Management Factors Affecting Fertility in Sheep: 167-190. En M. Manafi (ed.), *Artificial Insemination in Farm Animals*. InTech.
- THOM, E. C. (1959). The discomfort index. *Weatherwise*, 12: 57-59.
- VEGA, S., F. FORCADA, J. Á. CEBRIÁN-PÉREZ, J.-A. ABECIA, T. MUIÑO-BLANCO e I. PALACÍN (2007). Alteración de la calidad espermática en moruecos como consecuencia de la acción sinérgica de elevadas temperaturas y humedades relativas. *Pequeños Rumiantes*, 1: 8-14.
- YOUSEF, M. K. (1985). Thermoneutral zone. En M. K. Yousef (ed.), *Stress physiology in livestock*, vol. 1: *Basic principles*: 67-75. CRC Press. Boca Ratón (Florida).

ESTUDIO DE PROCESOS DE MEZCLA DE MAGMAS CON TRANSFERENCIA CRISTALINA EN EL PLUTÓN GRANÍTICO DE LA MALADETA: MODELIZACIÓN CUANTITATIVA

Teresa UBIDE¹
Enrique ARRANZ¹
Carlos GALÉ¹
Marceliano LAGO¹

RESUMEN.— En la zona central del Complejo Plutónico de La Maladeta (Pirineo axial, Huesca) se reconocen dos diques compuestos, máfico-félsicos, en los que se produjeron procesos de mezcla entre un magma máfico y otro félsico, dando lugar a una variedad de magmas híbridos. El estudio petrológico, mineralógico y geoquímico de los diferentes litotipos híbridos demuestra que, durante la mezcla de magmas, también hubo procesos adicionales de transferencia de cristales, previamente formados. La importancia de la transferencia de sólidos en el caso estudiado genera divergencias entre la composición de los híbridos y el modelo de mezcla simple. Así, se ha desarrollado una nueva fórmula que modeliza procesos de mezcla de magmas con transferencia cristalina. Este nuevo modelo sí se ajusta a las composiciones híbridas estudiadas y, además, tiene una aplicación más general que el clásico modelo de mezcla simple, ya que los procesos de mezcla pura (sin transferencia cristalina) son poco frecuentes en la naturaleza.

ABSTRACT.— Two composite mafic-felsic dykes crop out in the central zone of Maladeta Plutonic Complex (Pyrenean Axial Zone, Huesca). They are the result of mixing processes between mafic and felsic magmas. The

¹ Departamento de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza. Pedro Cerbuna, 12. E-50009 ZARAGOZA. teresaubide@gmail.com, earranz@unizar.es, carlos.gale@gmail.com, mlago@unizar.es

petrological, mineralogical and geochemical study of the generated hybrids points out the significance of crystal transfer during magma mixing. In consequence, simple mixing models do not fit our hybrid compositions. We have developed a new equation for modelling magma mixing with crystal transfer processes. Our hybrid compositions agree with the new model, which has a wider application than the former, as pure magma mixing processes (without crystal transfer) are rare in nature.

KEY WORDS: Magma mixing, crystal transfer, LA-ICPMS, Pyrenean Axial Zone (Huesca).

INTRODUCCIÓN

La mezcla de magmas consiste en la combinación de dos o más magmas coetáneos de composición más o menos contrastada, en la que el magma resultante debe tener una cierta homogeneidad y su composición ser intermedia entre la de los dos magmas iniciales. Del propio concepto general de magma, entendido como mezcla relativamente homogénea de tres fases (fundido, fases volátiles y sólidos en suspensión) se deriva que, en los procesos de mezcla de magmas, habrá fases miscibles y puede haber fases (sólidos) cuya propia naturaleza implica su inmiscibilidad, pudiendo ser transferidos de un magma a otro sin modificar su composición. Las mezclas de magmas raramente implican a líquidos exentos de cristales, por lo que el nuevo magma generado está integrado por una fase gaseosa y otra líquida, resultantes de la combinación de las fases gaseosas y líquidas de los fundidos que intervienen, más tantas fases sólidas como minerales aporten cada uno de ellos (LÓPEZ y CEBRIÁ, 1990).

Estos procesos de mezcla son comúnmente considerados responsables de las composiciones híbridas predominantes en los plutones graníticos. Se asume que dichas composiciones son resultado de la mezcla entre magmas de origen mantélico (polo básico o máfico) y cortical (polo ácido o félsico) (WINTER, 2001, y sus referencias). En ocasiones, es posible identificar diques compuestos, máfico-félsicos, en dichos plutones graníticos, que se consideran *modelos a escala reducida* de los procesos de mezcla de magmas que afectan al conjunto del plutón (WIEBE, 1991; WIEBE y cols., 1997*a, b, c*, y sus referencias; KOYAGUCHI y BLAKE, 1991; KOYAGUCHI y TAKADA, 1994).

El Complejo Plutónico de La Maladeta (Huesca) (CPM) es un excelente ejemplo de procesos de mezcla de magmas, ya que, por una parte, sus

facies intermedias, mayoritarias, son resultado de la mezcla de sus facies extremas (ARRANZ, 1997, y sus referencias) y, por otra parte, se reconocen diques compuestos, máfico-félsicos, de dimensiones hectométricas (CHARLET, 1979; ARRANZ, 1997, y sus referencias), que permiten estudiar y modelizar dichos procesos a escala de afloramiento, extrapolando los resultados al conjunto del plutón.

Los estudios sobre el CPM han sido numerosos y orientados con diversos enfoques (ARRANZ, 1997, y sus referencias). Los contornos cartográficos del macizo fueron definidos por MEY (1967, 1968), ZANDVLIET (1960), KLEINSMIEDE (1960), WENNEKERS (1968) y DE SITTER y ZWART (1962); la diferenciación de las unidades y facies petrográficas fue realizada en diferentes trabajos por CHARLET (1968, 1972, 1974 y 1979), CHARLET y DUPUIS (1974) y sintetizada en WATERLOT y CHARLET (1983). Los primeros datos geoquímicos parciales fueron presentados por MICHARD-VITRAC y cols. (1980) y ENRIQUE (1989), que aportó los primeros datos recientes en elementos mayores. Sin embargo, los primeros datos completos en geoquímica mineral y en roca total, así como el primer modelo petrogenético para el macizo (CPM), fueron aportados por ARRANZ (1997), que también actualizó la cartografía. La edad de emplazamiento tardivarisca del macizo está soportada por las dataciones geocronológicas de MICHARD-VITRAC y cols. (1980), EVANS (1993), EVANS y cols. (1998) y SOLÉ y cols. (1997); la caracterización de las condiciones termobarométricas y físico-químicas durante el emplazamiento de la masa plutónica fue realizada por DELGADO (1993).

La existencia de afloramientos compuestos máfico-félsicos en el CPM fue puesta de manifiesto en los trabajos de CHARLET (1972, 1979) y ARRANZ (1997), quienes describen la presencia de zonas con morfología irregular, elipsoidal o en diques. Las descripciones de estos autores se limitan a la petrología de los afloramientos y a sus relaciones de contacto con los encajantes.

El estudio geológico previo de estos diques (UBIDE, 2005) ha permitido verificar su origen a partir de un proceso de mezcla y la notable importancia de la transferencia cristalina entre los híbridos, en este caso de anfíbol, biotita, plagioclasa y cuarzo.

En 1978, Allègre y Minster propusieron una ecuación que reproduce el comportamiento de los elementos traza en los procesos de mezcla simple

entre dos magmas. Esta ecuación considera la miscibilidad completa entre los fundidos implicados y la ausencia de fases sólidas en el sistema, y su aplicación ha dado buenos resultados en numerosos sistemas geológicos. Sin embargo, no se ha desarrollado hasta el momento ninguna ecuación que permita valorar la influencia de los procesos de transferencia cristalina (SHAW, 2006).

El papel fundamental de la transferencia de sólidos en el caso que nos ocupa ha llevado a desarrollar una ecuación que valore su influencia en el proceso de mezcla. La ecuación definida exige el conocimiento de la composición en elementos traza de las fases transferidas. Hasta el momento se han utilizado, con buenos resultados (UBIDE, 2007), composiciones extraídas de la literatura, pero para la verificación definitiva de la ecuación es necesario obtener las composiciones reales mediante LA-ICP-MS.

La hipótesis de partida es que las diferencias observadas entre las composiciones, en roca total, reales y las obtenidas aplicando el modelo de mezcla simple de ALLÈGRE y MINSTER (1978) se deben a la importante influencia de la transferencia de fases sólidas entre los magmas mezclados.

Así, se espera que la inclusión en la ecuación inicial de un miembro que represente dicha transferencia cristalina conlleve el ajuste de las nuevas composiciones modelo a las composiciones reales. La nueva ecuación podrá tener una aplicación general a cualquier sistema de mezcla de magmas, ya que en los casos en los que la transferencia cristalina no es importante, el nuevo término añadido a la ecuación inicial será nulo, en tanto que en el resto de los casos, la nueva ecuación permitirá una mayor aproximación al proceso real.

Por tanto, el objetivo fundamental de este trabajo se centra en la verificación de una nueva ecuación que valore la importancia de la transferencia cristalina en los procesos de mezcla de magmas, para modelizar este tipo de procesos de una forma más real.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los materiales estudiados pertenecen a dos afloramientos localizados en la zona central del CPM, en los que se reconocen procesos de mezcla de

magmas de composición contrastada con evidencias de transferencia de fases sólidas.

A partir del estudio de visu y petrográfico de las muestras recogidas, se seleccionaron aquellas más inalteradas y representativas del proceso a caracterizar, para su análisis. La preparación de las muestras, tanto para composición mineral (microsonda electrónica y LA-ICP-MS) como para roca total (FRX e ICP-MS), se llevó a cabo en el Servicio de Preparación de Rocas y Materiales Duros de los Servicios de Apoyo a la Investigación de la Universidad de Zaragoza. Para la composición mineral se prepararon tabletas delgado-pulidas de 100 μ de espesor, que se utilizaron para el análisis de los elementos mayores (por microsonda electrónica) y traza (mediante LA-ICP-MS). Para la composición en roca total, las muestras seleccionadas se machacaron, cuartearon, molieron y tamizaron, obteniendo un polvo homogéneo y representativo.

Los análisis de microsonda electrónica se realizaron en el Laboratorio de Microscopía Electrónica Luis Bru de los Centros de Apoyo a la Investigación de la Universidad Complutense de Madrid, con un equipo JEOL JM-6400, según las condiciones estándar de análisis.

Los análisis de LA-ICP-MS y de roca total se llevaron a cabo en el Centro de Instrumentación Científica de la Universidad de Granada. Los análisis de roca total se realizaron mediante fluorescencia de rayos X (FRX; Philips Magix Pro PW 2440) para los elementos mayores y espectrometría de masa acoplada a plasma inductivo (ICP-MS; Perkin-Elmer Sciex-Elan 5000) para los elementos traza. Los análisis de LA-ICP-MS se realizaron en la Unidad de Datación Radiométrica y Geología Isotópica, con un Espectrómetro de Masas con fuente de ionización por antorcha de plasma y filtro de iones por cuadrupolo AGILENT 7500a, con sistema de Ablación Láser Mercantek UV-213.

Para el tratamiento de los datos obtenidos por LA-ICP-MS se siguió una metodología muy detallada, llevada a cabo con hojas de cálculo diseñadas para tal efecto.

Los resultados obtenidos mediante las técnicas de ICP-MS (en roca total) y de LA-ICP-MS (en minerales) permitieron la aplicación y verificación de la nueva ecuación propuesta por UBIDE (2007), a partir de la cual se

obtuvieron los mecanismos petrogenéticos que dieron lugar a la formación de los diques estudiados.

RESULTADOS

Estudio petrológico

Los dos afloramientos estudiados (fig. 1, *a* y *c*) corresponden a dos diques compuestos de dos tipos de magmas contrastados: máfico (oscuro, básico) y félsico (claro, ácido). A escala de afloramiento, es posible reconocer la secuencia de procesos físicos, igual en ambos diques, que tuvieron lugar en el emplazamiento de estos dos tipos de magmas, que son

- Inyección del magma máfico dentro del conducto.
- Inyección, poco posterior, del magma félsico por el mismo conducto.
- Fragmentación del magma máfico, todavía no enfriado y de comportamiento plástico, debido al empuje del segundo magma (mezcla física; fig. 1, *a* y *b*).
- Interacción simultánea entre los dos magmas, produciéndose una mezcla química que genera rocas híbridas entre las composiciones de ambos magmas.

El grado de hibridación observado no es igual en los dos afloramientos ni afecta de la misma manera a las composiciones de los magmas originales. Así, las composiciones máficas presentan una hibridación significativa (se observan volúmenes de mayor tamaño de grano, coloración más clara y contactos difusos), que contrasta con la escasa modificación que muestra el componente félsico (se identifican zonas con una mayor proporción de minerales ferromagnesianos, transferidos, cerca de los enclaves máficos; figura 1*b* —señalada con un marco coloreado—).

De la gran variedad de composiciones y texturas que es capaz de generar el proceso de mezcla, el estudio petrográfico ha permitido establecer tres litotipos principales en función de la composición y el grado de hibridación (fig. 2) que, del más félsico al más máfico, son

- Híbrido félsico 1 (HF1): aplita con biotita y turmalina ocasional.

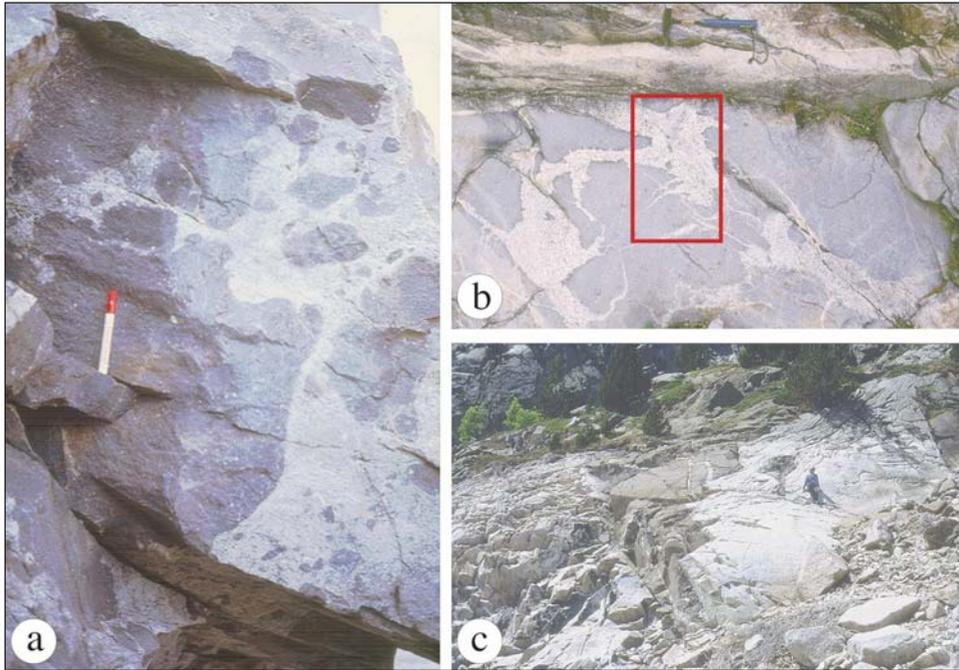


Fig. 1. *a)* Enclaves máficos dentro del dique de aplita más oriental; *b)* detalle del dique compuesto cortado por un dique de aplita tardío; *c)* aspecto general del afloramiento más occidental, donde puede apreciarse el predominio de la aplita sobre el volumen máfico, escasamente fragmentado en su zona central.

- Híbrido máfico 3 (HM3): microtonalita / microdiorita con biotita y anfíbol.
- Híbrido máfico 1 (HM1): microgabro con anfíbol y biotita.

Ninguno de estos litotipos representa a los polos composicionales extremos intervinientes en el proceso, identificándose modificaciones en grado variable por hibridación en todos ellos. Las composiciones máficas sufren un mayor grado de hibridación, en tanto que solo existe un litotipo félsico principal, lo cual es coherente con las observaciones de campo citadas.

Todos los litotipos tienen textura granuda equigranular de tamaño fino a medio (fig. 3). La característica más destacada del estudio petrográfico de estas muestras es la presencia de fases minerales cuya textura indica que

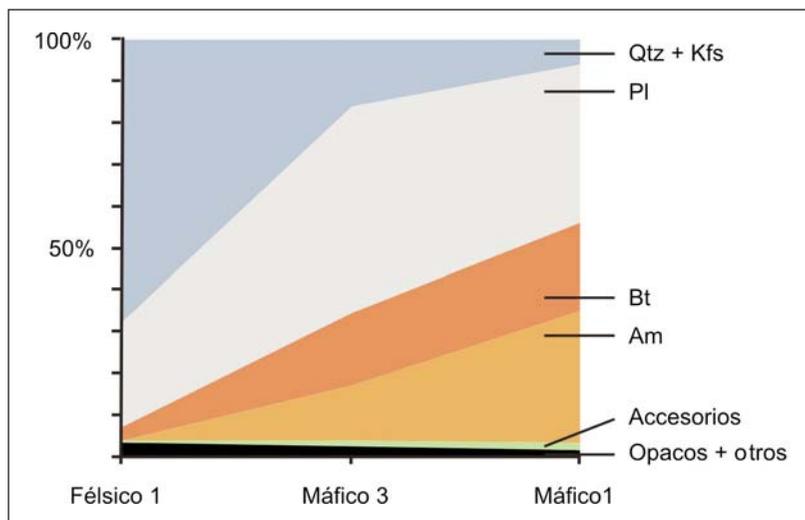


Fig. 2. Composición modal promedio de los litotipos diferenciados.

han sido transferidas en estado sólido desde magmas de diferente composición. Estas fases minerales son, generalmente, de mayor tamaño que el resto de cristales de la roca, y en concreto son

- Plagioclasas (fig. 3, *b* y *e*) con textura esponjosa (*spongy*) que, en ocasiones, presentan recrecimientos en el borde del cristal. El núcleo esponjoso de este tipo de plagioclasas se interpreta como un cristal previo transferido a un magma con el que se encuentra en desequilibrio químico, en tanto que el borde, no esponjoso, creció en equilibrio con dicho magma.
- Glomérulos de anfíbol, que, en ocasiones, presentan un núcleo de biotita (fig. 3, *d*), que puede llegar a reemplazar todo el glomérulo (fig. 3, *c*). Este tipo de textura glomerular del anfíbol sugiere su origen a partir de clinopiroxeno, por reacción con un fundido enriquecido en agua.
- Cristales de cuarzo incluidos, con coronas de reacción de anfíbol (fig. 3, *c* y *d*).

Por otra parte, se identifican fases cuya cristalización está directamente relacionada con el proceso de hibridación: biotita *blade* (fig. 3, *a*), apatito acicular y allanita.

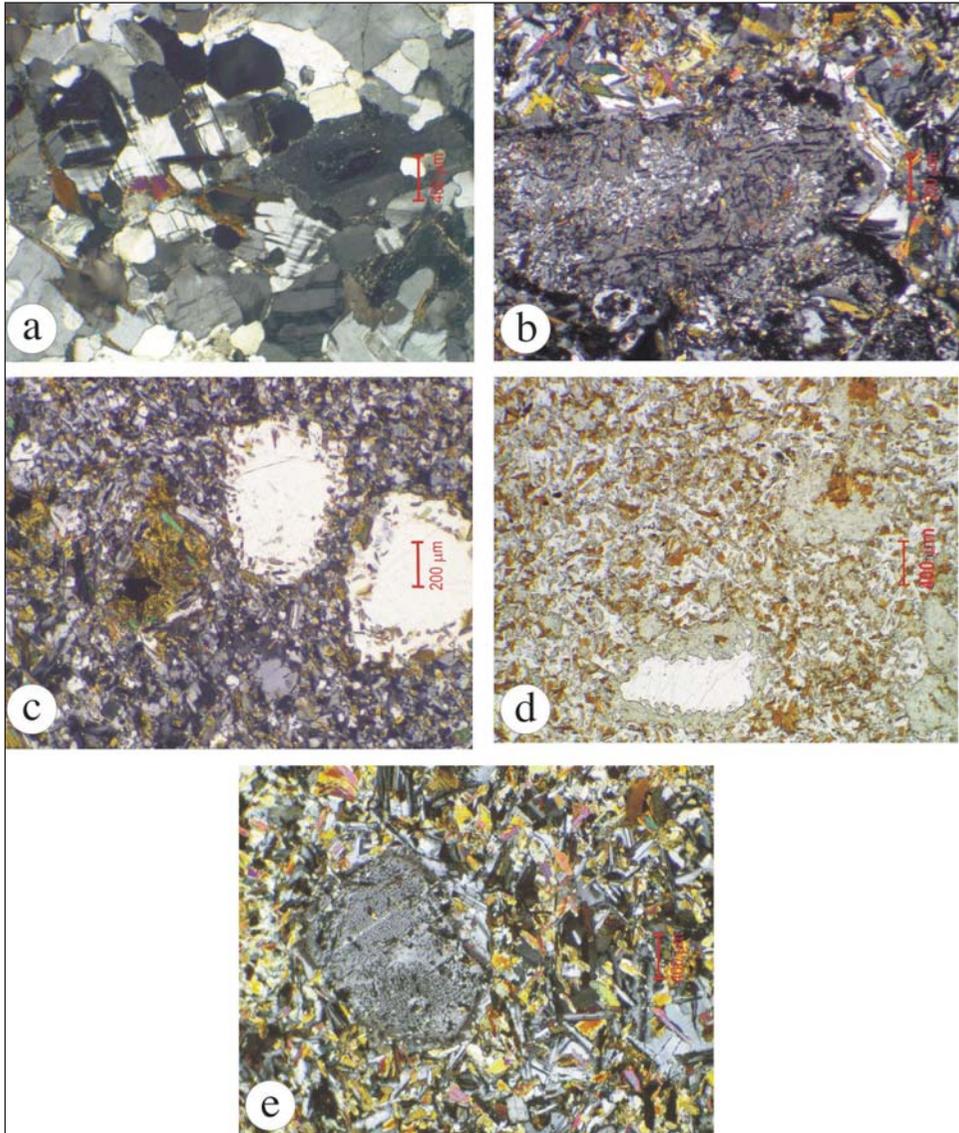


Fig. 3. *a)* HF1: composición cuarzofeldespática mayoritaria, con desarrollo de biotitas *blade*; *b)* HM3: plagioclasa esponjosa donde parte de los espacios generados resultan ocupados por biotita o anfíbol; *c)* HM3: nódulos de biotita y dos ocelos de cuarzo con doble recrecimiento, marcado por una zona con inclusiones de biotita; *d)* HM1: nódulos de anfíbol, con biotita en el núcleo y desarrollo de ocelos de cuarzo con corona de anfíbol; *e)* HM1: cristales de plagioclasa con textura esponjosa y posterior recrecimiento con zonado rápido.

Composición mineral

Elementos mayores

Plagioclasa y feldespato alcalino

La plagioclasa es un mineral común en todos los litotipos; el feldespato alcalino, por el contrario, solo aparece en el HF1.

Las composiciones obtenidas corresponden a los rangos An_{13} a An_{85} para la plagioclasa y Or_{60} a Or_{97} para el feldespato alcalino (fig. 4). Las plagioclasas más anortíticas se encuentran en los híbridos más máficos, aunque la superposición de composiciones es muy común (fig. 4), hecho que, en primer lugar, apoya el carácter híbrido de los litotipos 1, que por tanto no representan polos extremos sin modificar y que, además, sugiere, como la observación petrográfica, que existió transferencia cristalina entre los litotipos en contacto.

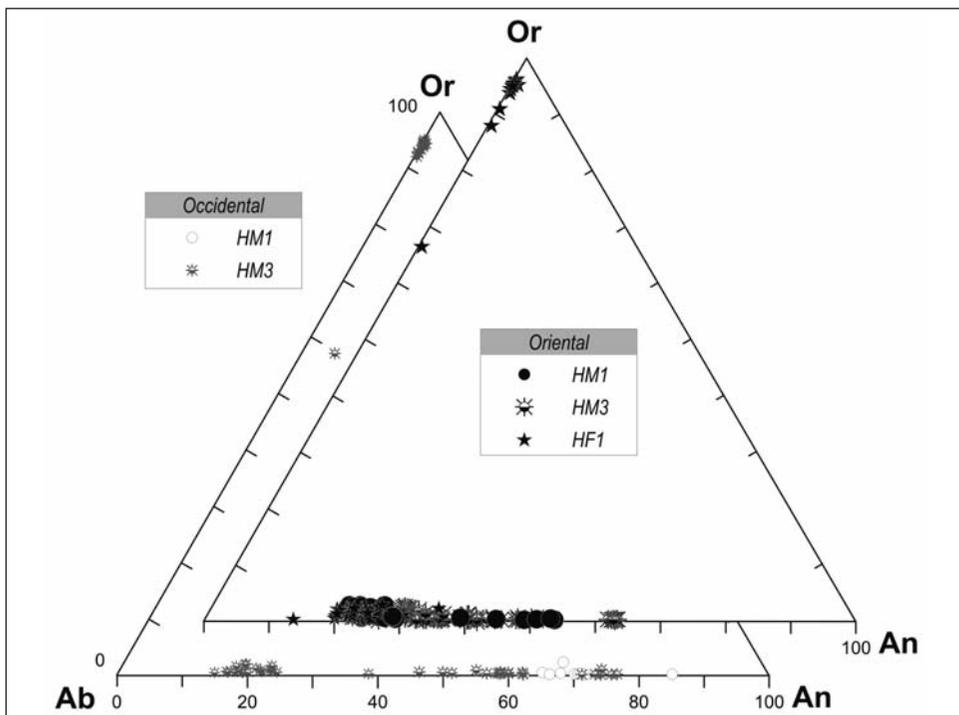


Fig. 4. Composición de la plagioclasa y del feldespato alcalino, muy similares entre los dos diques estudiados (occidental y oriental).

En general, la plagioclasa muestra una disminución en el contenido de anortita del centro al borde de los cristales, implicando la existencia de un zonado composicional en aquellos (más cálcicos en el centro).

La plagioclasa *spongy* presenta zonado oscilante y, en algunos casos, un aumento brusco del contenido de anortita hacia el borde del cristal. Estos cambios composicionales reflejan un desequilibrio entre el cristal y el fundido, que provoca una rápida reabsorción inicial del cristal y posterior recrecimiento en equilibrio con el fundido. Este proceso puede ser relacionado con un progresivo aumento del contenido en calcio del magma, coherente con lo esperable en el proceso de hibridación, cuando cristales grandes de plagioclasa formados en litotipos félsicos permanecen en contacto con fundidos progresivamente más mezclados con magmas máficos, o cuando dichos cristales son transferidos a litotipos máficos, en los que se encontrarían en desequilibrio.

Los cristales de plagioclasa de textura esponjosa han sido identificados en todos los litotipos, lo cual indica que la plagioclasa es uno de los minerales cuya composición y zonado sufren mayores modificaciones como consecuencia de los procesos de hibridación.

Biotita

La biotita forma parte de la asociación mineral en todos los litotipos y, en general, presenta variaciones en la relación $Fe^{2+} / (Fe^{2+} + Mg)$ de 0,36 a 0,70, y valores de Al^{IV} en el rango 1,14 a 1,45 (fig. 5).

La distribución de los valores (fig. 5) muestra una buena adecuación con el carácter máfico, félsico o híbrido de las rocas, correspondiendo las composiciones centrales a los híbridos intermedios.

Por otra parte, resulta destacable la similitud de buena parte de las composiciones obtenidas en los HM1 y sus HM3, sugiriendo, al igual que indicamos previamente para la plagioclasa, un importante papel de la transferencia cristalina como proceso implicado en la generación de los litotipos híbridos intermedios.

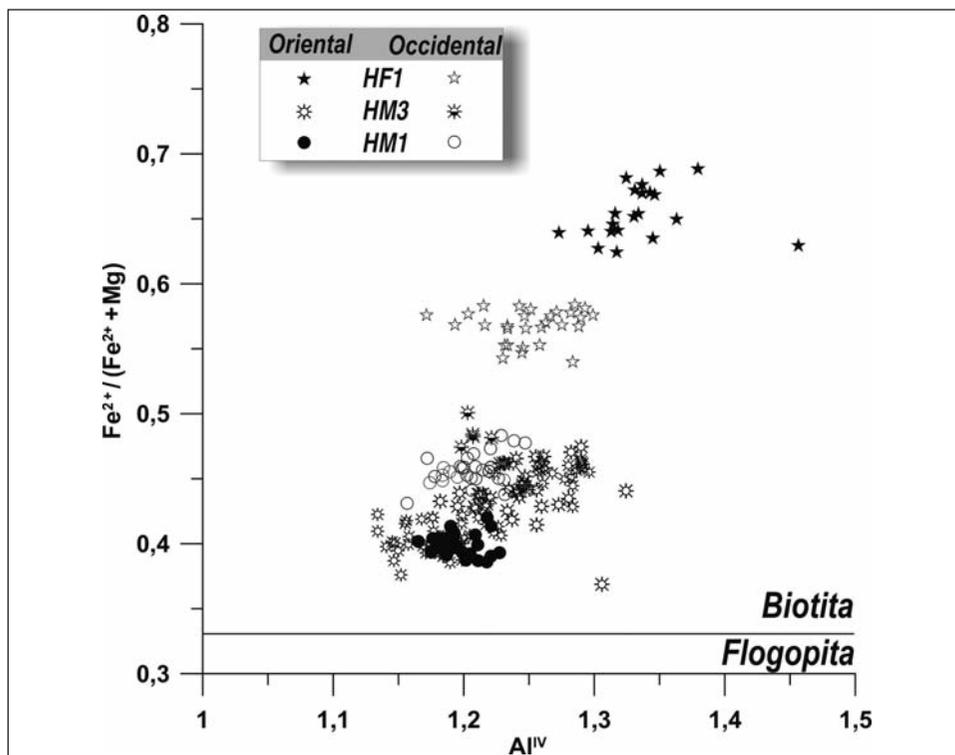


Fig. 5. Variación composicional de la biotita en los litotipos considerados para los dos diques (occidental y oriental) estudiados.

Anfíbol

El anfíbol, cálcico (Mg-Hbl y Act; fig. 6), aparece solo en los litotipos híbridos máficos. Las composiciones obtenidas son coincidentes entre los dos litotipos (fig. 6), lo que indica el origen común del anfíbol de ambos o, en otros términos, la incorporación de este mineral en el HM3 como fase sólida a partir del HM1.

La mayor parte de las composiciones son propias de la cristalización a partir de un fundido, si bien las composiciones más diferenciadas fueron posiblemente reequilibradas en condiciones subsólidas (fig. 7). Dichas composiciones, correspondientes principalmente a los HM3, podrían corresponder a los cristales pertenecientes a glomérulos, apoyando la hipótesis de su origen por hidratación de piroxenos.

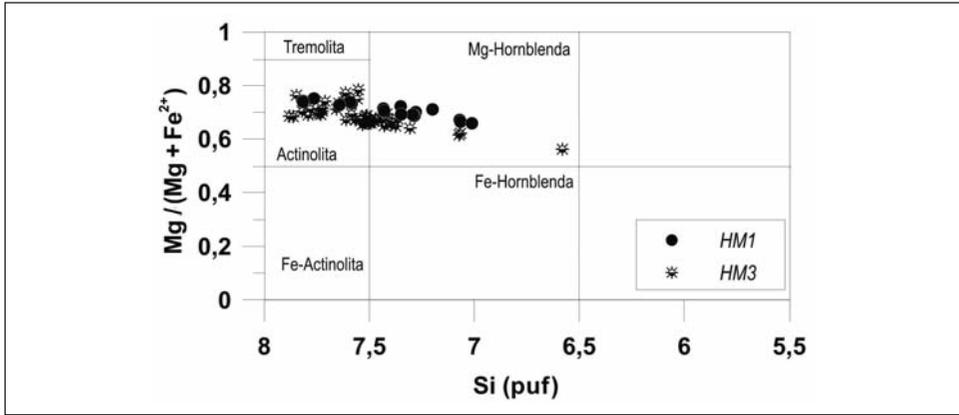


Fig. 6. Clasificación (IMA, 1997) y variación composicional de los anfíboles analizados.

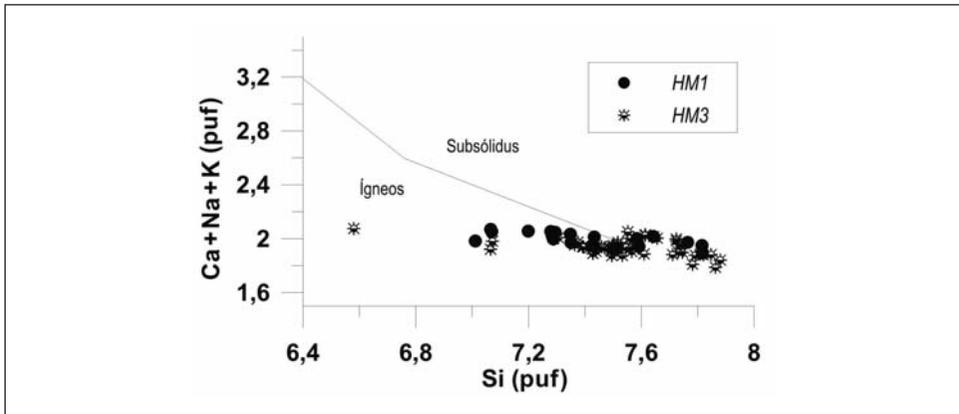


Fig. 7. Diagrama de discriminación entre composiciones ígneas y subsólidas en anfíboles (CZAMANSKE y WONES, 1973).

Tierras raras (REE)

El análisis de la composición en elementos traza de las fases minerales (tabla 1) se ha centrado en aquellas que aportan información acerca del proceso de mezcla o de la transferencia de fases sólidas. Por otra parte, también se han tenido en cuenta composiciones de fases propias de los magmas originales (posiblemente gabros y aplitas del CPM, véase el epígrafe siguiente), como elementos de comparación.

De los minerales transferidos durante el proceso de mezcla, se ha estudiado la composición de plagioclasa esponjosa y biotita y anfíbol glomerulares.

Tabla 1. Selección de composiciones minerales en REE (ppm), tanto de los híbridos estudiados (HF1, HM3, HM1) como de los magmas originales mezclados (aplitas con turmalina —APL(t)— y gabros —GAB— del CPM). *transf.*: fases transferidas a los magmas híbridos (plagioclasa de textura esponjosa y glomérulos de anfíbol y biotita).

	<i>Plagioclasa</i>					<i>Biotita</i>			
	<i>APL(t)</i>	<i>HF1</i>	<i>HF1 transf.</i>	<i>HM3</i>	<i>HM3 transf.</i>	<i>HF1</i>	<i>HF1 blade</i>	<i>HM3 transf.</i>	<i>HM1 transf.</i>
La	0,64	4,53	2,75	1,40	2,61	0,20	0,40	0,10	0,52
Ce	0,90	6,89	4,37	2,40	2,96	0,20	0,30	0,16	2,31
Pr	0,04	0,50	0,33	0,23	0,22	0,04	0,11	0,01	0,39
Nd	0,05	1,53	0,99	0,83	0,70	0,12	0,48	0,00	2,09
Sm	0,01	0,12	0,21	0,18	0,20	0,05	0,26	0,00	0,49
Eu	0,02	0,74	0,26	0,75	1,23	0,01	0,03	0,01	0,34
Gd	0,00	0,15	0,13	0,27	0,15	0,16	0,26	0,09	0,60
Tb	0,00	0,02	0,01	0,04	0,03	0,02	0,09	0,01	0,08
Dy	0,01	0,12	0,05	0,21	0,19	0,14	0,62	0,00	0,66
Ho	0,00	0,02	0,01	0,04	0,04	0,04	0,12	0,01	0,18
Er	0,00	0,03	0,02	0,10	0,09	0,12	0,32	0,01	0,50
Tm	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,04	0,00	0,09
Yb	0,00	0,00	0,01	0,09	0,09	0,15	0,25	0,01	0,55
Lu	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,04	0,01	0,11

	<i>Anfíbol</i>				<i>Turmalina</i>	<i>Clinopiroxeno</i>	<i>Ortopiroxeno</i>
	<i>HM3</i>	<i>HM3 transf.</i>	<i>HMI</i>	<i>HMI transf.</i>	<i>APL(t)</i>	<i>GAB</i>	<i>GAB</i>
La	8,16	7,15	8,85	10,01	2,18	9,54	0,98
Ce	22,11	27,16	25,12	32,25	4,44	30,17	2,88
Pr	2,91	4,62	3,97	5,36	0,34	4,99	0,41
Nd	11,80	24,81	19,79	29,29	1,03	29,51	1,93
Sm	3,06	9,16	6,60	9,38	0,26	10,25	0,63
Eu	0,78	0,45	0,66	1,71	0,01	1,06	0,08
Gd	2,88	10,28	7,28	8,90	0,08	10,11	0,72
Tb	0,64	2,26	1,44	1,65	0,00	1,81	0,17
Dy	4,52	14,08	9,74	10,83	0,02	10,87	1,37
Ho	1,00	2,82	2,08	2,19	0,00	2,23	0,39
Er	2,80	7,58	5,66	6,04	0,00	6,34	1,37
Tm	0,45	1,07	0,91	0,88	0,00	0,86	0,26
Yb	3,28	6,94	6,04	5,80	0,01	4,98	2,13
Lu	0,52	0,84	0,88	0,89	0,00	0,75	0,43

El cuarzo no se ha considerado, ya que no concentra elementos traza. En cuanto a los minerales resultantes del proceso, se han analizado plagioclasa, biotita y anfíbol de los híbridos. Finalmente también se han estudiado turmalinas y piroxenos de los magmas del CPM.

Los modelos desarrollados (véase el epígrafe “Modelización cuantitativa del proceso”) se han centrado en las REE, estudiándose las pautas normalizadas de este conjunto de elementos, por lo que el estudio de la composición en trazas de las fases minerales que intervienen en el proceso se centra también en sus REE.

Plagioclasa

La plagioclasa es el mineral del que más análisis se han obtenido. Las composiciones propias de los híbridos y las transferidas son coincidentes en la mayoría de los casos, y difieren de las correspondientes a las aplitas del CPM (tabla 1).

Del conjunto de análisis realizados, hemos considerado, para la modelización posterior, la composición de la plagioclasa transferida (*spongy*) correspondiente al litotipo HM3 (fig. 8). El resto de plagioclasas analizadas,

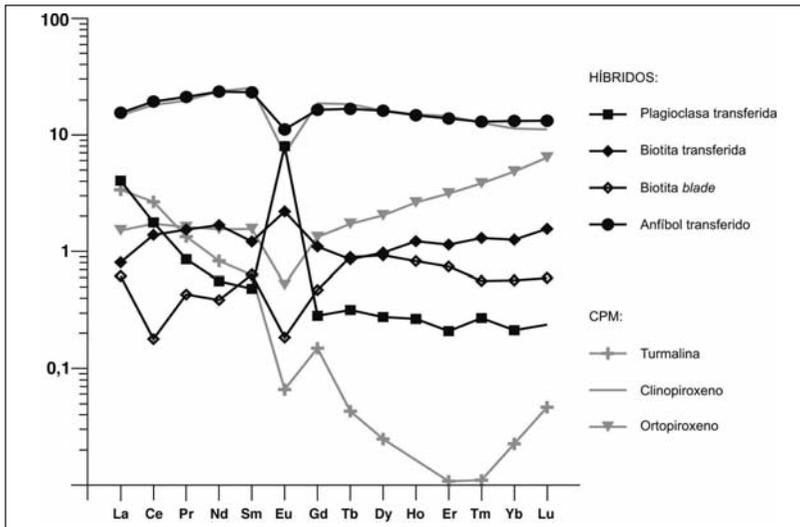


Fig. 8. Pautas de REE normalizadas frente a manto primitivo (McDONOUGH y SUN, 1995) seleccionadas entre las fases minerales analizadas en los híbridos y en los fundidos originales mezclados (CPM).

tienen contenidos de HREE cercanos a los límites de detección de la técnica, por lo que resulta arriesgado tenerlas en consideración; sin embargo, sus contenidos en LREE son muy similares a los de la plagioclasa seleccionada.

La distribución de sus REE, normalizada frente a manto primitivo (MCDONOUGH y SUN, 1995), presenta una pauta descendente para sus LREE ($La_N / Sm_N = 8$), una notable anomalía positiva en Eu ($Eu_N / Sm_N = 17$), que señala una concentración de este elemento en la plagioclasa o bien su estado de oxidación en forma de Eu^{3+} , y, finalmente, una pauta plana en el caso de las HREE ($Tb_N / Lu_N = 1$).

Biotita

De los análisis de biotitas realizados (tabla 1), consideramos dos como significativos para el proceso (fig. 8), uno correspondiente a biotita glomerular y otro a biotita *blade*.

Ambas composiciones tienen pautas normalizadas de REE relativamente planas, sobre todo, si se compara con otros minerales analizados (fig. 8). Pese a ello, muestran una distribución de anomalías inversa, coincidiendo solo, en Tb y Dy, lo que indica su origen diferente (una propia del híbrido y otra transferida).

La biotita glomerular, correspondiente al litotipo HM3, tiene una pauta ligeramente creciente en sus LREE ($La_N / Sm_N = 0,66$) y HREE ($Tb_N / Lu_N = 0,55$), con un ligero enriquecimiento en Eu ($Eu_N / Sm_N = 1,81$). Por el contrario, la biotita *blade*, correspondiente al litotipo HF1, tiene una pauta irregular en sus LREE ($La_N / Sm_N = 0,97$), una pendiente decreciente en sus HREE ($Tb_N / Lu_N = 1,50$) y un empobrecimiento relativo en Eu ($Eu_N / Sm_N = 0,29$).

Anfíbol

Los análisis de anfíbol obtenidos presentan composiciones muy similares entre sí (tabla 1). Destaca este mineral, frente a los anteriores, por presentar contenidos notables en todas las REE, por lo que sus análisis ofrecen

un alto grado de fiabilidad, al estar suficientemente alejados de los límites de detección de la técnica.

La composición más representativa (fig. 8) pertenece a un anfíbol glomerular. Presenta una pauta plana ($La_N / Lu_N = 1,17$), con un ligero empobrecimiento en Eu ($Eu_N / Sm_N = 0,48$). En detalle, se observa una pauta ligeramente creciente para las LREE ($La_N / Sm_N = 0,67$) y, por el contrario, ligeramente decreciente para las HREE ($Tb_N / Lu_N = 1,26$).

Piroxeno

Se ha analizado un cristal de clinopiroxeno y otro de ortopiroxeno (tabla 1) pertenecientes a un gabro del CPM, cuya composición consideramos equivalente a la del magma máfico original (véase el epígrafe siguiente).

Las concentraciones en REE (fig. 8), especialmente en LREE, del clinopiroxeno son un orden de magnitud mayores que las del ortopiroxeno. Además, aunque las pautas relativamente planas en LREE y la pequeña anomalía negativa en Eu son comunes a ambos minerales, el ortopiroxeno presenta una pauta creciente en HREE ($Tb_N / Lu_N = 0,27$) que difiere marcadamente de la pauta general plana del clinopiroxeno ($La_N / Lu_N = 1,33$).

El clinopiroxeno tiene bastante similitud con el anfíbol glomerular, lo cual es consistente con el origen de este tipo de anfíbol a partir de la desestabilización del clinopiroxeno cuando este es transferido a un magma más rico en agua (más félsico).

Turmalina

Se ha analizado un cristal de turmalina (tabla 1) perteneciente a una aplita del CPM que consideramos equivalente en composición al magma félsico original (véase el epígrafe siguiente).

Este mineral muestra (fig. 8) una pauta típica de empobrecimiento progresivo desde las LREE a las HREE, con una pequeña anomalía negativa en Eu y un ligero enriquecimiento en Lu.

Composición en roca total

Elementos mayores

Las composiciones en elementos mayores (tabla II) indican, en primer lugar, una reducida alteración de las muestras analizadas (LOI), menor en los litotipos félsicos y, en todo caso, inferior al 1,17%. En segundo lugar, muestran una elevada concordancia con el conjunto de composiciones del CPM (fig. 9, *a, b y c*), especialmente en los términos extremos. Así, los términos máficos son similares a los gabros y los félsicos a las aplitas del CPM. Por otra parte, resulta destacable que la composición en elementos mayores de uno de los HM3 resulta bastante similar en composición a la del HM1 (fig. 9, *a, b y c*). Esta similitud sugiere un menor desarrollo de los procesos de hibridación para ese caso concreto con respecto al otro HM3 de composición claramente intermedia entre los dos polos extremos.

Tabla II. Composición en roca total de los híbridos estudiados (HF1, HM3, HM1) en ambos afloramientos (oriental y occidental). Elementos mayores en porcentaje en peso; elementos traza en ppm.

	<i>Oriental</i>			<i>Occidental</i>		
	<i>HF1</i>	<i>HM3</i>	<i>HM1</i>	<i>HF1</i>	<i>HM3</i>	<i>HM1</i>
SiO ₂	73,99	65,38	55,13	72,76	55,17	55,99
TiO ₂	0,09	0,46	0,75	0,12	0,81	1,05
Al ₂ O ₂	13,89	15,62	16,50	14,69	17,12	17,97
Fe ₂ O ₂	1,15	4,26	7,14	1,41	7,41	7,17
MnO	0,03	0,08	0,14	0,04	0,20	0,14
MgO	0,29	3,58	7,06	0,48	5,79	4,60
CaO	1,16	4,45	7,05	1,31	8,06	8,02
Na ₂ O	3,01	2,51	1,68	3,14	1,90	1,38
K ₂ O	5,27	2,15	2,72	4,69	1,91	1,87
P ₂ O ₅	0,15	0,13	0,13	0,16	0,13	0,19
LOI	0,21	0,80	1,17	0,42	0,88	1,11
<i>Total</i>	99,23	99,42	99,66	99,22	99,39	99,49
Li	39,92	142,13	175,37	25,02	159,40	77,19
Be	15,48	11,61	4,48	7,35	7,57	2,16
Sc	4,05	16,11	26,70	6,43	29,49	28,17
V	8,39	98,03	178,49	18,89	193,95	177,12
Cr	134,45	243,42	390,10	164,30	316,36	193,11
Co	1,15	16,45	30,16	2,85	26,40	19,82

	<i>Oriental</i>			<i>Occidental</i>		
	<i>HF1</i>	<i>HM3</i>	<i>HMI</i>	<i>HF1</i>	<i>HM3</i>	<i>HMI</i>
Ni	4,71	69,15	124,43	29,92	75,49	12,92
Cu	5,34	27,06	31,85	5,63	11,07	9,57
Zn	12,68	47,43	69,22	21,57	134,88	73,09
Ga	15,41	17,58	18,26	18,68	20,87	20,83
Rb	188,55	125,79	167,91	259,17	147,43	143,64
Sr	99,02	190,32	225,27	71,33	250,26	311,62
Y	13,30	23,00	22,57	9,95	26,41	26,64
Zr	23,79	59,57	69,20	33,38	63,09	80,87
Nb	9,95	7,80	9,37	14,83	7,86	10,05
Mo	0,76	0,44	0,41	2,36	0,36	0,39
Sn	6,46	7,77	11,27	13,88	11,85	9,24
Cs	9,23	20,70	29,51	33,56	28,32	33,76
Ba	127,62	218,49	191,20	107,16	223,30	367,21
La	8,49	13,17	15,81	7,14	20,36	22,96
Ce	17,89	27,80	34,59	15,33	44,83	49,78
Pr	2,03	3,32	4,21	1,78	5,37	6,03
Nd	7,41	12,76	16,86	6,76	21,02	24,77
Sm	2,38	3,54	4,04	1,86	4,68	5,52
Eu	0,58	0,94	0,99	0,37	1,19	1,49
Gd	2,48	4,16	4,25	1,97	4,85	5,50
Tb	0,44	0,69	0,70	0,34	0,80	0,83
Dy	2,52	4,39	4,47	1,92	5,20	5,18
Ho	0,49	0,82	0,91	0,37	1,04	1,08
Er	1,26	2,32	2,39	0,96	2,93	2,87
Tm	0,18	0,35	0,38	0,16	0,44	0,42
Yb	1,15	2,11	2,33	0,97	2,76	2,62
Lu	0,16	0,32	0,37	0,15	0,43	0,39
Hf	1,16	2,17	2,36	1,64	2,41	2,47
Ta	1,83	1,34	9,42	4,64	0,82	0,85
Tl	1,17	0,84	1,18	1,63	1,16	1,00
Pb	70,15	25,31	16,48	70,07	7,55	5,28
Th	3,39	5,70	6,76	3,06	9,19	7,61

La relación $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{MgO}$ es baja (fig. 9, *a*) y con un rango de variación pequeño, de modo coherente con la afinidad calcoalcalina del conjunto del macizo. De las pautas de elementos mayores resulta reseñable que el HM3 de composición intermedia (afloramiento oriental), aun variando el contenido en sílice, mantiene el valor de la relación $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{MgO}$ (fig. 9, *a*) y el contenido en K_2O (fig. 9, *b*) respecto a los HM1, valores estos inferiores a

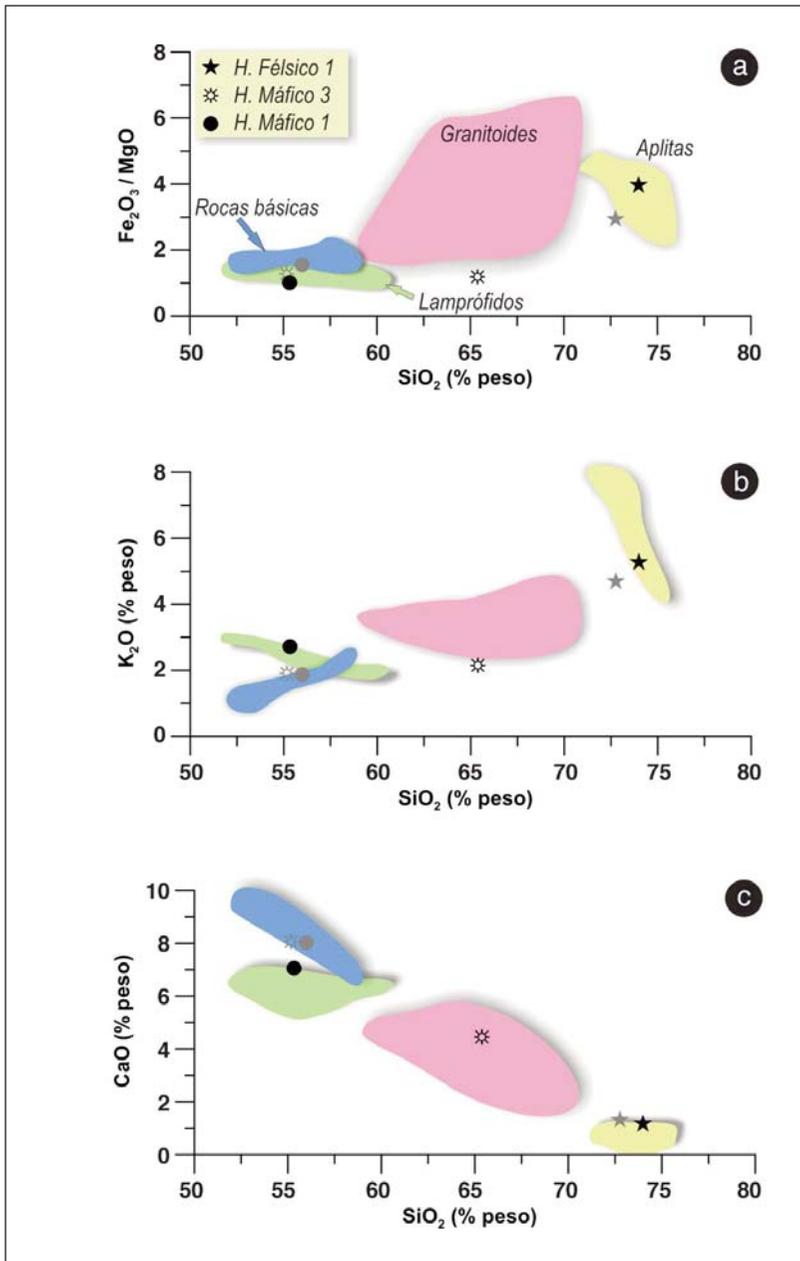


Fig. 9. a) Diagrama de variación $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{MgO}$ vs. sílice; b) diagrama de variación K_2O vs. sílice; c) diagrama de variación CaO vs. sílice. Cada color (puntos grises o negros) corresponde a un dique (occidental u oriental, respectivamente).

los de los litotipos graníticos del macizo. Por el contrario, el valor de CaO para este litotipo (fig. 9, *c*) resulta intermedio entre los propios de los términos extremos. Estos datos sugieren que el incremento en SiO₂ en el HM3 de composición intermedia está principalmente relacionado con la precipitación de plagioclasa (que correspondería a la de textura no esponjosa) como mineral producto del proceso de hibridación, mientras que los minerales ferromagnesianos resultarían incorporados en el HM3 a partir del HM1 sin modificar sustancialmente su composición, tal como hemos descrito previamente, a partir de las composiciones de biotita y anfíbol. Este aspecto está, además, apoyado por la similitud de texturas que muestran los minerales ferromagnesianos en ambos litotipos (HM1 y HM3).

Tierras raras (REE)

Las composiciones en el conjunto de elementos traza se indican en la tabla II. Como en el caso de los elementos mayores, las pautas de REE obtenidas (fig. 10) también son consistentes con las propias del macizo, correspondiendo los litotipos más diferenciados (aplitas) a las composiciones más empobrecidas.

De la misma forma, una de las composiciones de HM3 se muestra intermedia entre el HM1 y el HF1, resultando más similar al polo máfico en las HREE y más próxima al polo félsico en las LREE (fig. 10), mientras que la otra composición de HM3 considerada resulta muy similar al HM1, indicando, de nuevo, que en este caso se produjo menor hibridación. La coincidencia entre los híbridos es máxima en los elementos del Gd al Er, lo cual apoya la hipótesis de la transferencia como sólido del anfíbol entre los litotipos máficos, puesto que este mineral presenta un elevado coeficiente de reparto para dichos elementos (ROLLINSON, 1993).

Teniendo en cuenta las composiciones en roca total obtenidas, tanto para los elementos mayores como para los elementos traza, se deduce que los magmas mezclados en los conductos estudiados debieron tener una composición similar a la de las rocas básicas (gabros) y a las aplitas del CPM, ya que las rocas estudiadas representan, en todos los casos, híbridos, aunque con diferentes tasas de mezcla. Es muy probable, por tanto, que los clinopiroxenos transferidos a los híbridos (y desestabilizados a anfíbol con

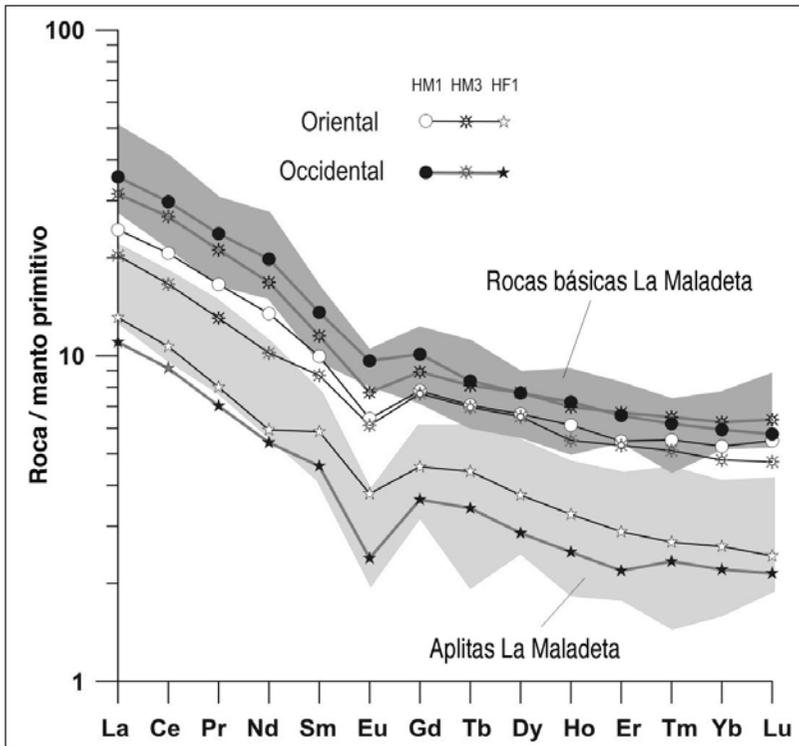


Fig. 10. Pautas de REE normalizadas a manto primitivo (MCDONOUGH y SUN, 1995) en los litotipos considerados para los dos diques (occidental y oriental) estudiados. Los rangos de composición de las aplitas y rocas básicas del CPM han sido representados para su comparación con las rocas híbridas (líneas).

textura glomerular, véase el epígrafe anterior) provinieran del magma máfico original (gabro del CPM).

Modelización cuantitativa del proceso

Valoración del proceso de mezcla simple

La ecuación de ALLÈGRE y MINSTER (1978) se aplica a elementos traza para modelizar procesos de mezcla simple, en los que los fundidos implicados son completamente miscibles y no existe transferencia de cristales en estado sólido:

$$C_M = C_1 f + C_2 (1 - f)$$

Donde C_M , C_1 y C_2 representan las concentraciones en la mezcla (M) y en los fundidos 1 y 2, respectivamente, de un determinado elemento, y f la fracción (en tanto por 1) del componente 1 en la mezcla. Teniendo en cuenta que en el sistema de estudio la transferencia cristalina es un proceso bastante generalizado, es esperable que se produzcan divergencias entre las composiciones modelo y las reales.

Para poder aplicar esta ecuación es necesario comprobar que los contenidos en elementos traza sean consistentes con un proceso de mezcla; así, dos elementos altamente incompatibles (i y j) se relacionan mediante una recta en un gráfico C_i vs. C_j (LÓPEZ y CEBRIÁ, 1990, y las referencias que contiene). En este caso, las concentraciones de La y Ce, altamente incompatibles, de todos los litotipos analizados (tabla II) presentan una relación lineal (fig. 11) que no pasa por el origen, lo que indica el desarrollo de procesos adicionales, como asimilación o contaminación (LÓPEZ y CEBRIÁ, 1990, y las referencias que contiene).

Se ha aplicado la ecuación de mezcla simple a las concentraciones de REE de los híbridos más extremos de entre los estudiados (HM1 y HF1 correspondientes a uno de los dos diques estudiados), aumentando los valores de f en intervalos del 5%.

En la figura 12 se muestran, normalizadas, las composiciones de los híbridos extremos (HM1 y HF1 de cada dique), las composiciones resultado

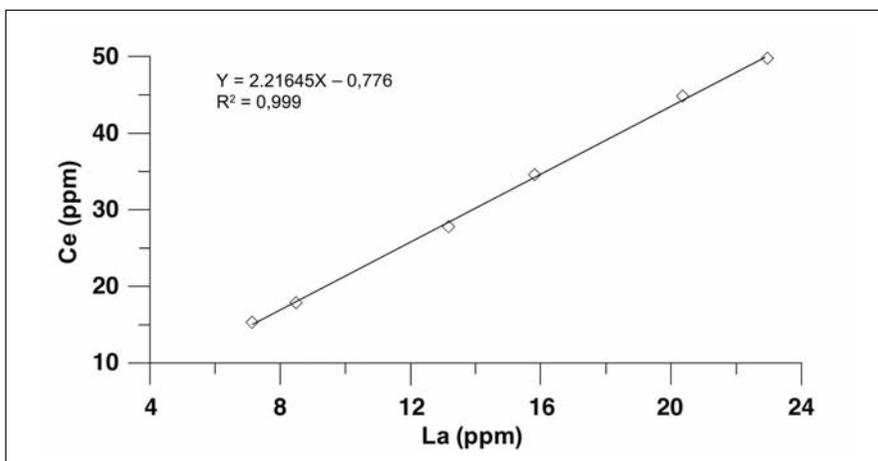


Fig. 11. Correlación entre los contenidos de La y Ce de las muestras de roca total analizadas.

de la modelización (líneas sin símbolo) entre HM1 y HF1 de uno de los diques (símbolos cerrados) y las composiciones de los híbridos intermedios (HM3 de cada caso). Las composiciones modelo presentan un buen ajuste con los híbridos reales para los elementos más incompatibles (LREE; fig. 12), lo cual es lógico si consideramos que los minerales que intervienen en la transferencia cristalina no concentran estos elementos. En lo relativo a las HREE, en uno de los diques (símbolos abiertos) el modelo calculado es coincidente con las rocas reales para los elementos más pesados (Er-Lu), al contrario de lo que sucede en el otro dique (símbolos cerrados), en el que la hibridación fue menor. Las discrepancias observadas en ambos casos pueden ser explicadas por los procesos de

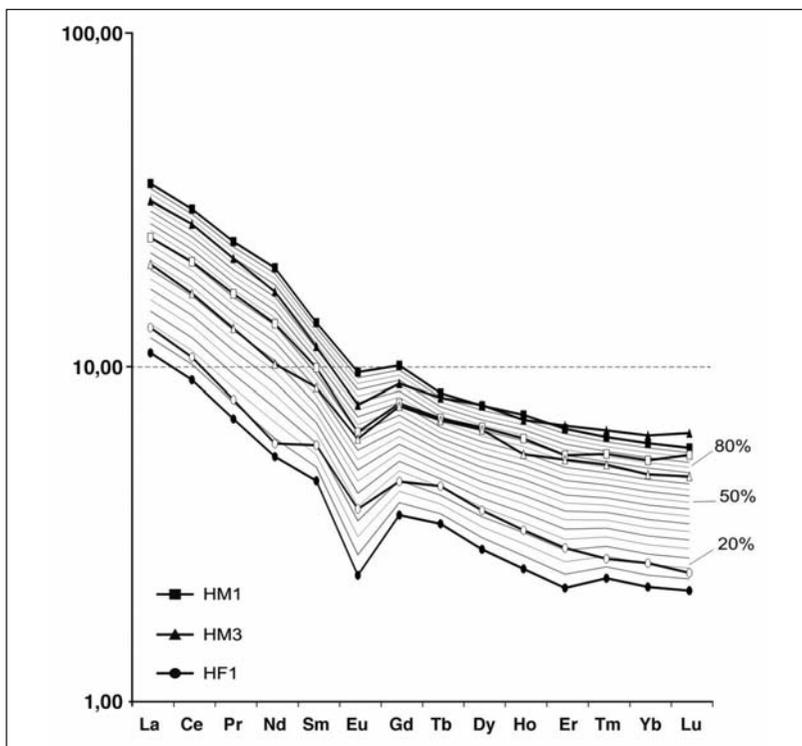


Fig. 12. Composiciones reales de las rocas estudiadas y modelo de mezcla simple (líneas sin símbolo) entre las composiciones más extremas, normalizados a manto primitivo (McDONOUGH y SUN, 1995). Los símbolos abiertos o cerrados indican los distintos diques (oriental y occidental, respectivamente). Los porcentajes indican la participación del polo máfico en el modelo de mezcla.

transferencia cristalina indicados, ya que los tres minerales transferidos (anfíbol y biotita en glomérulos y plagioclasa *spongy*) tienen elevados coeficientes de reparto para Gd, Tb, Dy, Er, Yb y Lu (anfíbol), Eu (plagioclasa) y las HREE en general (biotita).

Las proporciones de mezcla máximas se pueden estimar por comparación entre la pauta real y las pautas modelo, para los elementos más incompatibles: así, el HM3 de uno de los diques (símbolos cerrados) representaría una participación del polo fésico del 15 al 20% y el HM1 del otro dique (símbolos abiertos) una del 40-45%. El HM3 correspondiente a ese dique (símbolos abiertos) sería resultado de la mezcla del subsistema HM1-HF1 de ese dique, con una participación del segundo del 35 al 40%.

Valoración del proceso de mezcla con transferencia cristalina

Se ha desarrollado una nueva ecuación, basada en la de mezcla simple de ALLÈGRE y MINSTER (1978), que tiene en cuenta la transferencia de fases en estado sólido en los híbridos generados:

$$C_M = C_1 f + C_2 (1 - f) + \Sigma (mR)$$

Donde C_M , C_1 y C_2 representan las concentraciones en la mezcla (M) y en los fundidos 1 y 2, respectivamente, de un determinado elemento, f la fracción (en tanto por 1) del componente 1 en la mezcla, m la concentración en el/los mineral/es transferido/s del elemento considerado y R la/s proporción/es modal/es (tanto por 1) del/de los mineral/es transferido/s en la mezcla. Así, el término adicional $\Sigma (mR)$ representa las variaciones que introduce la transferencia cristalina en el proceso principal de mezcla.

Tal y como hemos indicado previamente, ninguna de las rocas estudiadas representa a los polos composicionales del proceso de mezcla; sin embargo, los híbridos de composiciones más extremas (HM1 y HF1) son coincidentes con las composiciones en roca total de los gabros y aplitas del CPM (figs. 9 y 10). Así, utilizaremos como polos composicionales (C_1 y C_2) dichas composiciones del CPM (ARRANZ, 1997), aunque también valoraremos, como en el caso de mezcla simple (véase el epígrafe anterior), las posibilidades de mezcla que presentan los híbridos extremos de los dos diques estudiados. Los valores de f aumentarán a intervalos del 10%.

Tabla III. Proporciones modales (tanto por 1) de los minerales transferidos a cada uno de los híbridos. *W* y *E* indican los dos diques considerados (el más occidental y el más oriental, respectivamente).

<i>R</i>	<i>HF1 W</i>	<i>HF1 E</i>	<i>HM3 E</i>	<i>HMI E</i>	<i>HM3 W</i>	<i>HMI W</i>
Anfíbol	0,000	0,000	0,035	0,165	0,010	0,015
Biotita	0,065	0,000	0,080	0,035	0,030	0,005
Plagioclasa	0,250	0,050	0,050	0,005	0,045	0,004

Por otra parte, en el sistema de estudio se producen transferencias cristalinas de tres minerales (anfíbol, biotita y plagioclasa), por lo que el término adicional Σ (mR) tendrá tres miembros. Los valores de *m* utilizados se corresponden con los representados en la figura 8 para fases transferidas y los valores de *R* han sido estimados al microscopio (tabla III).

Se han representado los resultados de la aplicación del modelo de mezcla con transferencia cristalina (C_M) para cada híbrido, junto con la composición real del híbrido correspondiente (fig. 13). De esta forma, es posible valorar si las composiciones obtenidas mediante la aplicación de la nueva fórmula se aproximan más a las composiciones reales, que en el caso de mezcla simple. Así se puede, por un lado, verificar la validez de la nueva fórmula propuesta y, por otro, establecer, si procede, el proceso de mezcla con transferencia cristalina como el proceso generador de los híbridos estudiados:

- HM1 E (HM1 del dique oriental): resultado coherente de la mezcla con transferencia cristalina de los gabros (con piroxeno) y aplitas del CPM, con una tasa de mezcla del 50% (fig. 13, *a*) del polo fésico. Cabe destacar la importancia de la transferencia cristalina, que provoca que las pautas modelo aumenten sus contenidos en HREE aproximándose mucho más al híbrido real de lo que lo harían las pautas modelo obtenidas con la ecuación de mezcla simple. En concordancia con esta interpretación, cabe recordar que este híbrido presenta las mayores proporciones de anfíbol glomerular, probablemente resultado de la hidratación de los piroxenos del gabro.
- HM1 W (HM1 del dique occidental): no se ajusta a ningún modelo de mezcla, presentando concentraciones en las HREE muy elevadas (fig. 13, *b*), incluso mayores que las del gabro. Teniendo en cuenta que

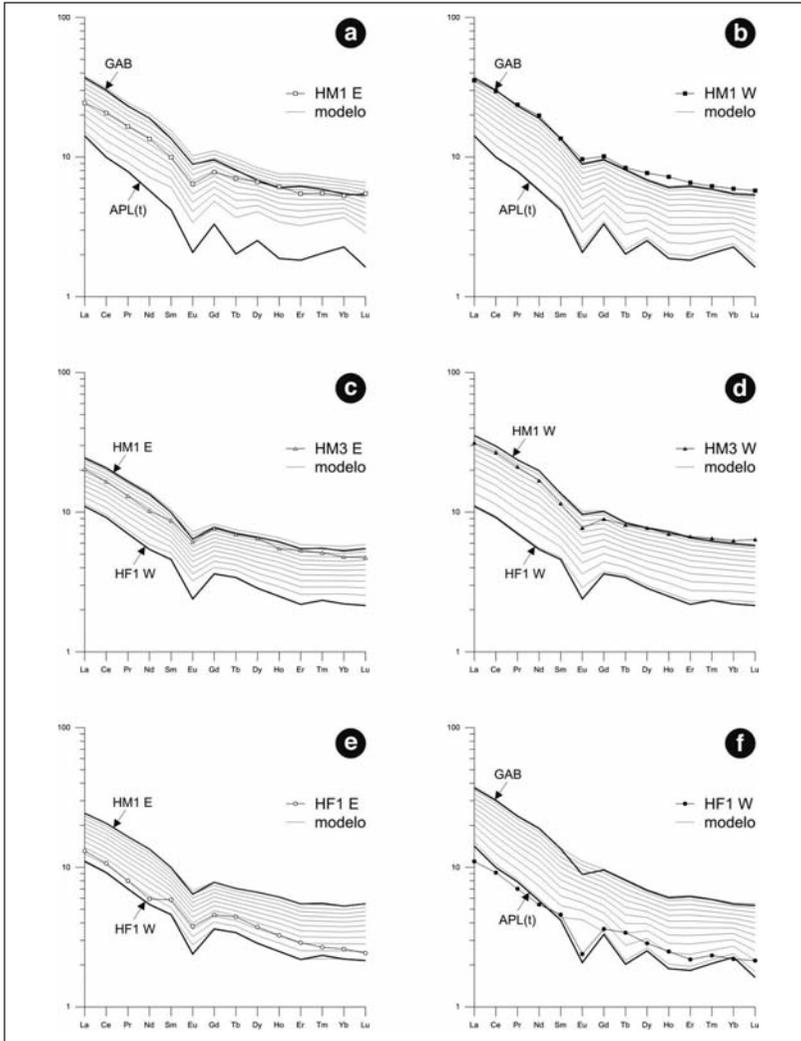


Fig. 13. Modelos de mezcla con transferencia cristalina para cada híbrido y composiciones reales del híbrido correspondiente a cada caso, normalizados a manto primitivo (McDONOUGH Y SUN, 1995). GAB: gabro del CPM; APL(t): aplita con turmalina del CPM; *W* y *E* indican los dos diques considerados (el más occidental y el más oriental, respectivamente). *a)* HM1 E, consecuencia de la mezcla con transferencia cristalina entre aplitas y gabros del CPM; *b)* HM1 W, no se ajusta a ningún modelo de mezcla; *c)* HM3 E, consecuencia de la mezcla con transferencia cristalina entre el HM1b y el HF1a; *d)* HM3 W, consecuencia de la mezcla con transferencia cristalina entre el HM1a y el HF1a; *e)* HF1 E, generado por mezcla con transferencia cristalina entre el HM1b y el HF1a; *f)* HF1 W no se ajusta a ningún modelo de mezcla.

este híbrido es muy similar composicionalmente a los gabros del CPM (figs. 10 y 13, *b*), es probable que su génesis implique la hidratación de un magma de composición gabroica, que favorecería la desestabilización de los piroxenos tempranos a anfíboles y la cristalización de este mineral como ferromagnesiano de alta temperatura mayoritario y no glomerular (los glomérulos de anfíbol en este litotipo son muy escasos). La mayor concentración en HREE en este litotipo se justificaría así por los elevados coeficientes de reparto del anfíbol para estos elementos. Por otro lado, los desajustes observados también podrían deberse a una subestimación de la tasa de transferencia cristalina.

- HM3 E: resultado coherente de la mezcla con transferencia cristalina del HM1 E con el HF1 W, con una tasa de mezcla del 30% del polo félsico (fig. 13, *c*).
- HM3 W: no se ajusta demasiado bien al proceso de mezcla con transferencia cristalina entre las composiciones de HM1 y HF1 de este mismo dique (fig. 13, *d*), aunque puede deberse a una subestimación de las tasas de transferencia, o a procesos de hidratación añadidos similares a los del HM1 de este dique.
- HF1 E: resultado coherente de la mezcla con transferencia cristalina del HM1 E con el HF1 W, con una tasa de mezcla del 80% del polo félsico (fig. 13, *d*).
- HF1 W: la pauta de REE de este híbrido no se ajusta a las obtenidas al tomar como polo félsico puro del proceso de mezcla una aplita con turmalina del CPM (fig. 13, *f*), por lo que no puede relacionarse con la misma exclusivamente por los procesos de mezcla propuestos, a pesar de presentar cristales de plagioclasa y biotita transferidos. Este desajuste puede deberse a varios factores:
 - La presencia de abundante turmalina en la aplita de referencia, mientras que es minoritaria en el híbrido félsico. Este mineral resulta indicador del desarrollo de procesos hidrotermales que han afectado a la roca modificando su composición, lo que resulta evidente en la presencia de turmalina, pero también en las variaciones de la composición que se identifican en la pauta de REE, especialmente en las HREE, cuyas concentraciones

presentan oscilaciones significativas. La turmalina ha sido analizada (fig. 8) para tratar de establecer cómo influye en el modelo. Como se ha indicado anteriormente, la turmalina presenta pauta de empobrecimiento progresivo desde las LREE a las HREE, con una pequeña anomalía negativa en Eu y un ligero enriquecimiento en Lu. Estas características se reflejan en la propia pauta del polo félsico utilizado en el modelo, lo cual indica el efecto que tiene la presencia de este mineral.

- La diferente evolución de diques simples y diques compuestos. Los diques compuestos, como son los casos estudiados, presentan evoluciones complejas y los fenómenos de cristalización rápida por transferencia de fases fluidas entre los magmas implicados son capaces de fijar algunos elementos incompatibles (como las REE) en los sólidos cristalizados rápidamente; por el contrario, en diques simples (por ejemplo, el dique de aplita del que se obtuvo la muestra de referencia), en los que el proceso de cristalización está condicionado, principalmente, por el enfriamiento del magma y es más continuo, estos elementos pueden permanecer en los fundidos residuales o ser movilizados hacia otras zonas del sistema en los fluidos hidrotermales, generando una composición empobrecida en algunos elementos. La escasa participación de componentes máficos en el HF1 W, factor que implica que pequeñas variaciones en la composición del polo félsico extremo elegido, van a tener una gran influencia en el mejor o peor ajuste de los productos al modelo.

Estos desajustes podrían ser corregidos o minorados verificando otras composiciones extremas de partida, valorando su mejor o peor adecuación a la composición petrológica y geoquímica del híbrido félsico.

CONCLUSIONES

La ecuación clásica de ALLÈGRE y MINSTER (1978) para modelizar procesos de mezcla simple no se ajusta a los litotipos híbridos aflorantes en los diques compuestos, máfico-félsicos, del sector central del macizo de La Maladeta.

Se ha añadido un término a la ecuación en representación de la transferencia cristalina observada en los híbridos: $\sum mR$, donde m es la concentración del elemento considerado en cada mineral transferido y R es la proporción modal de cada mineral transferido en el híbrido. En el sistema de estudio el sumatorio consta de tres miembros, puesto que son tres los minerales que se transfieren: anfíbol, biotita y plagioclasa.

Los valores de m se han obtenido analizando los minerales transferidos con técnicas analíticas puntuales de elevada sensibilidad (LA-ICP-MS). De los análisis obtenidos, se han seleccionado, para su aplicación a la nueva fórmula, los tres (uno correspondiente a cada mineral) más representativos dentro de los de máxima fiabilidad analítica.

Los modelos resultantes de la aplicación de la nueva fórmula, que toma en consideración los procesos de transferencia cristalina, sí se ajustan a las composiciones híbridas reales. Así, se ha verificado que la fórmula propuesta es correcta. Por otra parte, esta fórmula ha permitido establecer que el mecanismo físico-químico principal que dio lugar a los híbridos estudiados fue un proceso de mezcla química de magmas (hibridación) con transferencia física de cristales previamente formados. Los magmas originales mezclados, máfico y félsico, debieron corresponder composicionalmente a los gabros y aplitas del CPM, respectivamente.

Los resultados analíticos en minerales obtenidos mediante LA-ICP-MS son consistentes con la interpretación de los anfíboles como producto de la hidratación de piroxenos previos, que debieron ser transferidos desde el magma máfico original.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por una Ayuda a la Investigación del Instituto de Estudios Altoaragoneses en su convocatoria del año 2007.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLÈGRE, C. J., y J. F. MINSTER (1978). Quantitative models of trace element behaviour in magmatic processes. *Earth Planet. Sci. Letters*, 38: 1-25.

- ARRANZ YAGÜE, E. (1997). *Petrología del macizo granítico de La Maladeta (Huesca-Lérida): estructura, mineralogía, geoquímica y petrogénesis*. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza. 320 pp.
- CHARLET, J. M. (1968). Étude préliminaire du massif granitique de La Maladeta (Pyrénées centrales espagnoles). *Ann. Soc. Géol. Nord.*, 88: 65-75.
- CHARLET, J. M. (1972). *Étude géologique et pétrographique du massif granitique de La Maladeta (Pyrénées centrales espagnoles)*. Mémoire présenté au concours de l'Académie Royale de Belgique. 115 pp.
- CHARLET, J. M. (1974). Les grands traits géologiques du massif de La Maladeta (Pyrénées centrales espagnoles). En *Actas del VII Congreso Internacional de Estudios Pirenaicos (La Seo de Urgel, 1974)*: 37-38. Resumen de las comunicaciones presentadas. IPE. Jaca.
- CHARLET, J. M. (1979). Le massif granitique de La Maladeta (Pyrénées centrales espagnoles). Synthèse des données géologiques. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, 102: 313-323.
- CHARLET, J. M., y C. DUPUIS (1974). Observations nouvelles dans le massif de La Maladeta. En *Actas del VII Congreso Internacional de Estudios Pirenaicos (La Seo de Urgel, 1974)*: 38. Resumen de las comunicaciones presentadas. IPE. Jaca.
- CZAMANSKE, G. K., y D. R. WONES (1973). Oxidation during magmatic differentiation, Finnmarka Complex, Oslo area, Norway; part 2, the mafic silicates. *J. Petrol.*, 14(3): 349-380.
- DE SITTER, L. U., y H. J. ZWART (1962). Geological map of the Paleozoic of the Central Pyrenees, sheet 1, Salat, France. *Leidse Geologische Mededelingen*, 27: 191-236.
- DELGADO MARTÍN, J. (1993). *Caracterización mineralógica, físico-química y geoquímica de los skarns del contacto norte del batolito de La Maladeta (Vall d'Aran, Lleida)*. Universidad de Barcelona. 412 pp.
- ENRIQUE GISBERT, P. (1989). Caracterización geoquímica mediante elementos mayores de los granitoides de la vertiente meridional del Pirineo central. *Studia Geologica Salamanticensia*, vol. esp. 4: 41-60.
- EVANS, N. G. (1993). *Deformation during the emplacement of the Maladeta granodiorite, Spanish Pyrenees*. Ph. D. Thesis. University of Leeds.
- EVANS, N. G., y cols. (1998). Syntectonic emplacement of the Maladeta granite (Pyrenees) deduced from relationships between Hercynian deformation and contact metamorphism. *Journal of the Geological Society*, 155: 209-216.
- IMA SUBCOMMITTEE ON AMPHIBOLES (B. E. Leake, Chairman) (1997). Nomenclature of Amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on new minerals and mineral names. *Mineralogical Magazine*, 61: 295-321.
- KLEINSMIEDE, W. F. (1960). The geology of the valle de Arán (Central Pyrenees). *Leidse Geologische Mededelingen*, 25: 131-241.

- KOYAGUCHI, T., y S. BLAKE (1991). Origin of mafic enclaves: constraints on the magma mixing model from fluid dynamic experiments. Capítulo 31 de J. Didier y B. Barbarin (eds.), *Enclaves and granite petrology. Developments in Petrology*, 13: 415-429.
- KOYAGUCHI, T., y A. TAKADA (1994). An experimental study on the formation of composite intrusions from zoned magma chambers. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 59: 261-267.
- LÓPEZ RUIZ, J., y J. M. CEBRIÁ GÓMEZ (1990). *Geoquímica de los procesos magmáticos*. Rueda. Madrid. 168 pp.
- MCDONOUGH, W. F., y S. S. SUN (1995). The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120: 223-253.
- MEY, P. H. W. (1967). The geology of the Upper Ribagorzana and Baliera Valleys, sheet 9, Central Pyrenees, Spain. *Leidse Geologische Mededelingen*, 41: 153-220.
- MEY, P. H. W. (1968). The geology of the Upper Ribagorzana and Tor Valleys, sheet 8, Central Pyrenees, Spain. *Leidse Geologische Mededelingen*, 41: 229-292.
- MICHARD-VITRAC, A., y cols. (1980). The genesis of Variscan (Hercynian) plutonic rocks: Inferences from Sr, Pb, and O studies on the Maladeta Igneous complex, Central Pyrenees (Spain). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 72: 57-72.
- ROLLINSON, H. (1993). *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Pearson Education Limited. Harlow, 352 pp.
- SHAW, D. M. (2006). *Trace elements in magmas. A theoretical treatment*. Cambridge UP. Cambridge. 243 pp.
- SOLÉ, J., y cols. (1997). Geocronología K/Ar de los skarns mineralizados en As-Au y de las alteraciones intragraníticas asociadas en el hercínico de los Pirineos centrales. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 20-A: 77-78.
- UBIDE, T. (2005). *Estudio de procesos de mezcla física e hibridación entre magmas de composición contrastada (macizo de La Maladeta, Pirineo central)*. Trabajo académicamente dirigido (inédito). Universidad de Zaragoza. 60 pp.
- UBIDE, T. (2007). *Estudio y modelización de procesos de mezcla de magmas con transferencia de fases sólidas (macizo de La Maladeta, Pirineo central)*. Trabajo final del Máster de Iniciación a la Investigación en Geología (inédito). Universidad de Zaragoza. 90 pp.
- WATERLOT, M., y J. M. CHARLET (1983). El Carbonífero de los Pirineos. Carbonífero y Pérmico de España. En *Actas del X Congreso Internacional de Estratigrafía y Geología del Carbonífero*. Ministerio de Industria y Energía, Secretaría de la Energía y Recursos Minerales / IGE. Madrid. 502 pp.
- WENNEKERS, J. H. N. (1968). The geology of the Esera Valley and the Lys-Caillaouas massif, sheet 7, Central Pyrenees, Spain-France. *Leidse Geologische Mededelingen*, 41: 221-267.

- WIEBE, R. A. (1991). Commingling of contrasted magmas and generation of mafic enclaves in granitic rocks. Capítulo 29 de J. Didier y B. Barbarin (eds.), *Enclaves and granite petrology. Developments in Petrology*, 13: 393-402.
- WIEBE, R. A., y S. D. ADAMS (1997a). Felsic enclave swarms in the Gouldsboro Granite, Coastal Maine: A record of eruption through the roof of a silicic magma chamber. *Journal of Geology*, 105: 617-627.
- WIEBE, R. A., y cols. (1997b). Enclaves in the Cadillac Mountain Granite (Coastal Maine): samples of hybrid magma from the base of the chamber. *Journal of Petrology*, 38(3): 393-423.
- WIEBE, R. A., y R. ULRICH (1997c). Origin of composite dikes in the Gouldsboro Granite, Coastal Maine. *Lithos*, 40: 157-178.
- WINTER, J. D. (2001). *An introduction to igneous and metamorphic petrology*. Prentice Hall Inc. Nueva Jersey. 697 pp.
- ZANDVLIET, J. (1960). The geology of the Upper Salat and Pallaresa Valleys, Central Pyrenees, France-Spain. *Leidse Geologische Mededelingen*, 25: 1-127.

DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DE LOS RESTOS ARQUEOLÓGICOS HALLADOS EN EL SOLAR DEL CÍRCULO CATÓLICO (HUESCA)

Paula URIBE¹
Jorge ANGÁS¹
Alfredo SERRETA²

RESUMEN.— Los restos arqueológicos de época romana exhumados en el solar del antiguo Círculo Católico de Huesca constituyen uno de los hallazgos más relevantes de la arqueología urbana oscense para el conocimiento de la antigua Osca. Gracias a una Ayuda para Proyectos de Investigación concedida por el Instituto de Estudios Altoaragoneses en 2011, un equipo interdisciplinar pudo realizar un escaneado 3D de los restos para ampliar su investigación. Mediante el uso de esta tecnología se ha obtenido la documentación geométrica requerida para las investigaciones científicas, así como una serie de productos de fácil y libre acceso que posibilitan la divulgación de los restos. Los resultados conseguidos han permitido avanzar en la interpretación arqueológica del entramado urbano romano de la antigua Osca.

ABSTRACT.— The archaeological remains, dated from the Roman period, unearthed on the site of the former Círculo Católico, are among the most important findings of urban archaeology of Huesca which permit a better understanding of the ancient Osca. Thanks to an aid for research projects

¹ Scanner Patrimonio e Industria, *spin-off* de la Universidad de Zaragoza. Avenida de Navarra, 103. E-50017 ZARAGOZA. uribe@unizar.es, j.angas@3dscanner.es

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

granted by the Instituto de Estudios Altoaragoneses in 2011, an interdisciplinary team was able to perform a 3D scan of the remains. By means of this technology, the geometric documentation required for scientific research has been obtained, creating a range of products, which are easy to manage and are free accessible, which will allow the disclosure of the remains. The results have facilitated progress in the archaeological interpretation of the urban framework of the old Roman Osca.

KEY WORDS.— 3D laser scanning technology, photogrammetry, Roman temple, Roman house, Osca-Huesca (Spain).

INTRODUCCIÓN

Según ROYO y cols. (2009: 159), de todas las intervenciones arqueológicas realizadas en el casco histórico de Huesca, son las excavaciones en el solar del antiguo Círculo Católico las que han supuesto un mayor salto cualitativo y cuantitativo en el modo de ver la arqueología urbana en esta ciudad.

Las actuaciones arqueológicas se iniciaron en la primera mitad de los años noventa del siglo xx, dentro del convenio de excavaciones arqueológicas suscrito entre el Gobierno de Aragón y el Ayuntamiento de Huesca. Los trabajos de campo fueron dirigidos por Nieves Juste y Antonio Turmo entre los años 1992 y 1994. Los resultados más sobresalientes de dichos trabajos, realizados de forma intermitente a lo largo de varias campañas, se han dado a conocer en sucesivos estudios científicos y de divulgación (JUSTE, 1994 y 2000). Para la realización de este artículo nos centramos sobre todo en los restos de época romana:³ restos parciales de tres viales de época romana republicana junto a una vivienda —denominada Casa de las Rosetas— localizada en el cruce de esas calles empedradas. Esta vivienda contó con un pavimento de *opus signinum* y otro de *opus spicatum* (JUSTE, 1994: 151-158). Pero, sin lugar a dudas, el hallazgo más importante de esta fase fue el templo o *sacellum in antis* excavado casi por completo entre 1992 y 1994 (JUSTE, 1994: 142-151, figs. 9-19) y fechado en época sertoriana, aunque el estudio posterior de ASENSIO (2003: 120-121) plantea, por su especial tipología constructiva, una posible cronología cesariana.

³ Conocemos la existencia de restos islámicos en la fase inicial de la excavación cuyos niveles aportaron un rico lote de material cerámico plenamente representativo de las producciones hispanomusulmanas del siglo xi (JUSTE, 1994: 164-166).

Tras unos años de paralización de los trabajos en el solar y su adquisición por Suelo y Vivienda de Aragón (SVA) para la construcción de viviendas sociales, la ampliación de la superficie edificable aconsejó la continuación de las intervenciones arqueológicas en este espacio. Estas se ejecutarían en una segunda fase a cargo de aquel organismo y en una tercera con la colaboración y aportación económica de la Dirección General de Patrimonio Cultural, entre los años 2003-2004 (bajo la dirección de Javier García Calvo) y 2005-2006 (dirigidas por José Luis Cebolla Berlanga), y se excavarían únicamente los niveles superficiales de cronología moderna y contemporánea.

Las últimas intervenciones arqueológicas, entre 2005 y 2006, se llevaron a cabo durante el proceso de levantamiento y retirada de los abundantes restos de época medieval, moderna y contemporánea, así como durante la adecuación para la conservación del conjunto arqueológico de época romana.⁴ En esta última intervención se completó la excavación de los viales romanos⁵ localizados en los años noventa y las estructuras domésticas asociadas al templo sertoriano. Asimismo, se descubrieron y documentaron nuevos edificios de carácter monumental pertenecientes, con toda probabilidad, al área del foro de la ciudad en época republicana.

Ante la importancia de estos restos, y gracias a la concesión de una Ayuda para Proyectos de Investigación del Instituto de Estudios Altoaragoneses en la convocatoria 2011-2012, un equipo interdisciplinar decidió su estudio con dos objetivos:

- Revisar las diferentes hipótesis que sobre la denominada Casa de las Rosetas se han planteado hasta el momento.
- Difundir estos hallazgos a la sociedad, debido a que se trata de uno de los restos romanos —templo y vivienda— más antiguos descubiertos por el momento en el territorio prepirenaico.

⁴ Asimismo, se descubrió por vez primera en Huesca un fondo de cabaña de tendencia ovalada fechado en la Edad del Bronce (Bronce pleno o medio), con un ajuar cerámico de carácter doméstico abundante y variado en cuanto a su tipología y funcionalidad. En varias zonas del solar, sin presencia de estructuras inmuebles, se documentaron niveles de ocupación de la Edad del Hierro, así como ibéricos.

⁵ Construidos con grandes losas calizas que todavía conservaban las rodadas de los carros, hecho comprobado en varios viales de dicha época documentados en otros solares del casco histórico.

Para solucionar ambas demandas —científica y divulgativa—, planteamos que la mejor opción sería realizar un escaneado 3D de los restos para poder generar, por un lado, la documentación geométrica requerida para las investigaciones científicas, así como una serie de productos de fácil y libre acceso: modelos 3D, vistas de 360°, modelos adaptados a los formatos web, planimetrías en Cad o pdf 3D que podrían consultarse a través de Internet o simplemente formar parte de la musealización del monumento en centros de interpretación o museos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Debido al carácter interdisciplinar del estudio, la metodología aplicada pertenece a diferentes campos del conocimiento. En primer lugar, la metodología arqueológica consistió en

- Documentación: consulta de los informes arqueológicos que se encuentran depositados en el Gobierno de Aragón y búsqueda de bibliografía.
- Comparación de los datos conocidos con los obtenidos mediante el proceso de documentación geométrica mediante tecnología láser escáner 3D.
- Planteamiento de las hipótesis.

En segundo lugar, para la documentación geométrica 3D se utilizó un método compuesto. Para ello se combinó el uso del láser escáner 3D con varias cámaras fotogramétricas y objetivos (métricos calibrados) para la captura de la textura de los restos romanos.

La metodología de trabajo se apoyó, como referencia de control y como ajuste para establecer la unión de todos los modelos 3D adquiridos en el desarrollo del estudio, en la colocación de una serie de puntos de control estratégicos que se localizaron mediante dianas tipo Black & White. Dichos puntos de control fueron adquiridos tanto por una estación total como por escáner 3D láser, y los datos obtenidos mediante estación total fueron el eje vertebral sobre el que se apoyó todo el trabajo de escaneado. Estas dianas o puntos de control permitieron unir los distintos modelos obtenidos de cada escaneado entre sí, ya que fueron puntos conseguidos en cada uno

de los diversos modelos. Asimismo, gracias a esta metodología, ha sido posible detectar cualquier anomalía en la precisión del modelo 3D resultante en la zona documentada de cada uno de los escaneados.

Debido a la colocación de las dianas, realizamos el posicionamiento del escáner en coordenadas, ya que este no se situó en un punto de coordenadas conocidas, sino que se estacionó y orientó mediante el método de intersección inversa. Una vez unidos y referenciados cada uno de los escaneados realizados durante el periodo de trabajo, se efectuaron el posproceso de los datos y la obtención de los resultados finales.

Mediante una cámara fotográfica, en combinación con un objetivo de 8 milímetros tipo ojo de pez, se realizó la captura de la textura en cada uno de los escaneados, para poder aplicar la imagen real a la nube de puntos generada. Por otro lado, para mejorar la textura del modelo tridimensional, se procedió a realizar la captura de fotografías de alta resolución mediante cámaras métricas en condiciones de luz homogéneas (fig. 1).



Fig. 1. Vista del conjunto de los restos romanos del Círculo Católico. Proceso de documentación mediante escáner láser 3D de diferencia de fase modelo Leica HDS 6100.

Topografía de apoyo utilizada en los restos romanos del Círculo Católico mediante estación total

La topografía de apoyo o clásica realizada en la zona de trabajo adquiere una gran importancia, ya que garantiza todo el trabajo posterior del escáner —registra y controla la precisión del modelo—. Esta fase representa la base de todo el proceso metodológico. Este carácter del proceso previo de topografía clásica se establece al proporcionar los distintos puntos de control (dianas) para unir los diferentes escaneados dentro de un mismo sistema de coordenadas. Al mismo tiempo, sirve también de referencia externa que permite controlar la precisión de los datos obtenidos con un resultado final de alineación inferior a 2 milímetros.

Otro aspecto importante del proceso previo de topografía es la capacidad de controlar estructuralmente el modelo obtenido, es decir, la topografía es capaz de auscultar cualquier patología estructural que pudiese surgir en los restos arqueológicos.

Por todo ello, la primera fase requiere de una precisión y exactitud que garantice la consecución de unos resultados correctos. La toma de datos de estas dianas se realizó con la estación Leica TCRP 1202+, con



Fig. 2. Estación total en el proceso de documentación y apoyo topográfico.

una precisión angular de 10 cc y una desviación típica a prisma de 2 mm + 2 ppm (fig. 2).

Debido al uso de un sistema topográfico como base del proceso, el estudio de los restos arqueológicos podría ser ampliado en cualquier momento, ya que varios puntos fijos permanecen en la zona de trabajo. De esta manera, si se deseara ampliar el estudio realizado mediante escaneado láser 3D, los nuevos datos adquiridos se apoyarían en esa red topográfica. Así, automáticamente todo el sistema estaría encajado en el mismo sistema de coordenadas.

En la zona de estudio se colocaron las diferentes referencias (dianas Black & White) necesarias para el registro y unión de cada uno de los escaneados llevados a cabo. El número de dianas y su distribución variaron en función de la posición en que se colocó el escáner, para que cada diana pudiera ser captada en uno o más escaneados. Gracias a este proceso se obtuvo un modelo 3D con un error final respecto de los puntos de control (dianas) de 2 milímetros.

Documentación mediante láser escáner 3D de los restos romanos del Círculo Católico

Para la documentación mediante tecnología láser escáner 3D se utilizó un escáner de diferencia de fase Leica HDS 6100, que proporciona una alta velocidad de escaneado junto con una densa nube de puntos. En el conjunto del yacimiento se efectuó un total de 18 escaneados. La resolución de datos en la nube de puntos se fijó en 3 milímetros. Además, con la redundancia en la toma de datos o el solape entre los escaneados podemos obtener una mayor densidad de datos, con zonas donde puede existir 1 milímetro de resolución.

Mediante este proceso obtenemos una nube de puntos de alta densidad que nos define de manera milimétrica todo el conjunto del yacimiento, y así tenemos la base geométrica sobre la que posteriormente se aplicará la textura propia de los restos romanos (fig. 3).

La validación del modelo se lleva a cabo mediante la adquisición de puntos de control por medio del escáner y de la estación total (fig. 4). Esto



Fig. 3. Proceso de documentación del escáner láser 3D de diferencia de fase en los restos romanos.

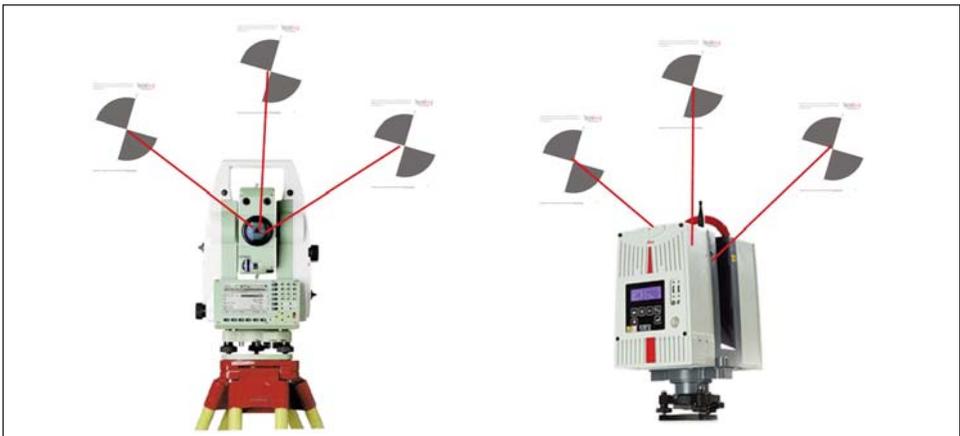


Fig. 4. Representación de la adquisición de los diferentes puntos de referencia (dianas) por parte de la estación total y del escáner. Los puntos de referencia poseen coordenadas únicas y están relacionados entre sí e integrados dentro de la misma red topográfica del yacimiento.

nos permite determinar que el error acumulado en la unión de los escaneados no exceda de la tolerancia fijada en 3 milímetros a 10 metros, momento en el que se desecha la unión de los modelos y se comienza de nuevo el proceso de unión. La unificación de los diferentes escaneados se ejecutó sobre la base de, como mínimo, tres puntos de control.

Técnicas fotogramétricas utilizadas

Para proporcionar la textura al modelo se utilizó una cámara métrica calibrada Canon EOS 550 de 18,8 megapíxeles, que coincide con ambos ejes ópticos (el del escáner y el de la cámara). De esta manera se obtiene por separado la textura del modelo para, posteriormente, incorporarla a la geometría propia de los restos romanos, adquirida mediante escaneado láser 3D. Las condiciones de iluminación del entorno de trabajo condicionan el resultado final de la adquisición de la textura, así que es necesaria una atención especial en este proceso que proporcione un ajuste radiométrico.

La textura adquirida mediante este proceso aporta el color a la nube de puntos captada. Las fotografías se realizaron con el siguiente material:

- Cámara Canon EOS 550.
- Objetivo Canon de 8 milímetros tipo ojo de pez.

Posproceso de los datos obtenidos por escáner 3D

El primer paso necesario para el tratamiento de la información adquirida fue la renderización de la nube de puntos obtenida de cada escaneado, a través de la textura elaborada de la cámara calibrada. En este proceso se realizó una orientación absoluta de la panorámica obtenida con la cámara, con referencia a la nube de puntos a través de una serie de puntos de control identificados tanto en la nube de puntos como en las fotografías (fig. 5).

El segundo paso consistió en el registro o unión de los diferentes escaneados en un modelo único. Para ello se emplearon los datos de las referencias topográficas (dianas) adquiridas mediante topografía clásica como una base sobre la que se encajan todos y cada uno de los escaneados realizados.



Fig. 5. Ejemplo de nube de puntos registrada de todo el conjunto con una resolución de 3 milímetros.



Fig. 6. Triangulación de la nube de puntos. Representación sólida de la malla triangulada.

El tercer paso fue la clasificación y depuración de los datos obtenidos, ya que pueden aparecer elementos externos al objeto de estudio, tales como estructuras modernas (pilares, tuberías, forjado) o las propias dianas, que pese a ser claves para el registro de los modelos no forman parte del objeto de estudio y deben omitirse en el modelo final del yacimiento romano.

Posteriormente se efectuó la malla de triángulos irregulares, operación con la que se transformó la nube de puntos en un modelo triangulado con diferentes grados de simplificación, dependiendo de la finalidad y tamaño del archivo resultante (fig. 6).

Finalmente se obtuvieron visores, tanto métricos como gráficos, de la zona de estudio que nos permiten actualmente visualizar los restos romanos en detalle y realizar mediciones tridimensionales sobre ellos. Los formatos de los ficheros exportables fueron .mov para los visores gráficos y XML-HTML para los métricos.

A partir de los modelos obtenidos, ya sea en formato de nube de puntos o de malla, texturizada o sin texturizar, se diseñaron los diversos planos del yacimiento: secciones transversales, secciones longitudinales, vistas en planta, vistas isométricas...

Además, tanto de las fotografías como de los visores métricos se consiguieron archivos de metadatos definiendo diversos datos, constantes y variables, para cada uno de los visores métricos y conjuntos de fotografías (fig. 7).

RESULTADOS

Una vez posprocesados todos los datos adquiridos, se han obtenido los siguientes productos.

*Adaptación de los datos a ficheros (métricos) HTML.
Desarrollo de una base de datos 3D de cada escaneado
en formato XML para Internet Explorer y metadatos*

A través de esta operación se ha producido un modelo panorámico métrico para la visualización 3D en HTML incorporando para cada escaneado un

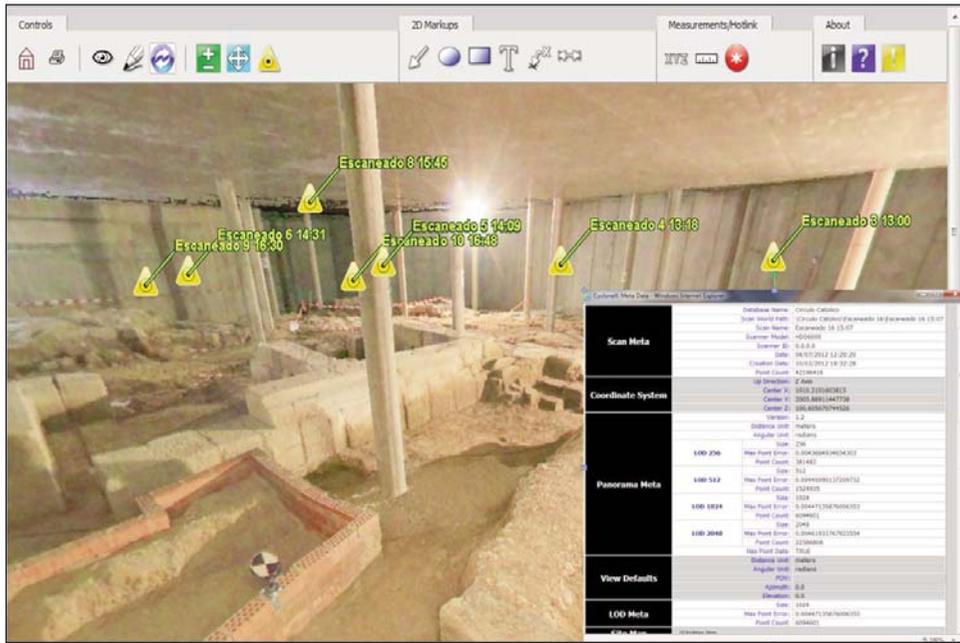


Fig. 7. Visor métrico esférico en formato HTML para su difusión mediante un fichero Web Data Server con la incorporación de los metadatos claves para su clasificación.



Fig. 8. Detalle de medición tridimensional sobre el modelo panorámico métrico en formato web de la zona del templo.

archivo XML con los metadatos específicos. Se reproduce directamente a través de Internet Explorer ejecutando el archivo SiteMap.htm. Por medio de este visualizador se representan el punto de vista del escáner y la información adquirida. Además, es posible tanto localizar un punto en coordenadas relativas como realizar cualquier medición arquitectónica (fig. 8).

Ficheros gráficos esféricos

Del mismo modo, se efectuaron archivos panorámicos esféricos de cada uno de los estacionamientos del escáner en el yacimiento arqueológico. Reproducen una visión de 360° de la zona escaneada (fig. 9).

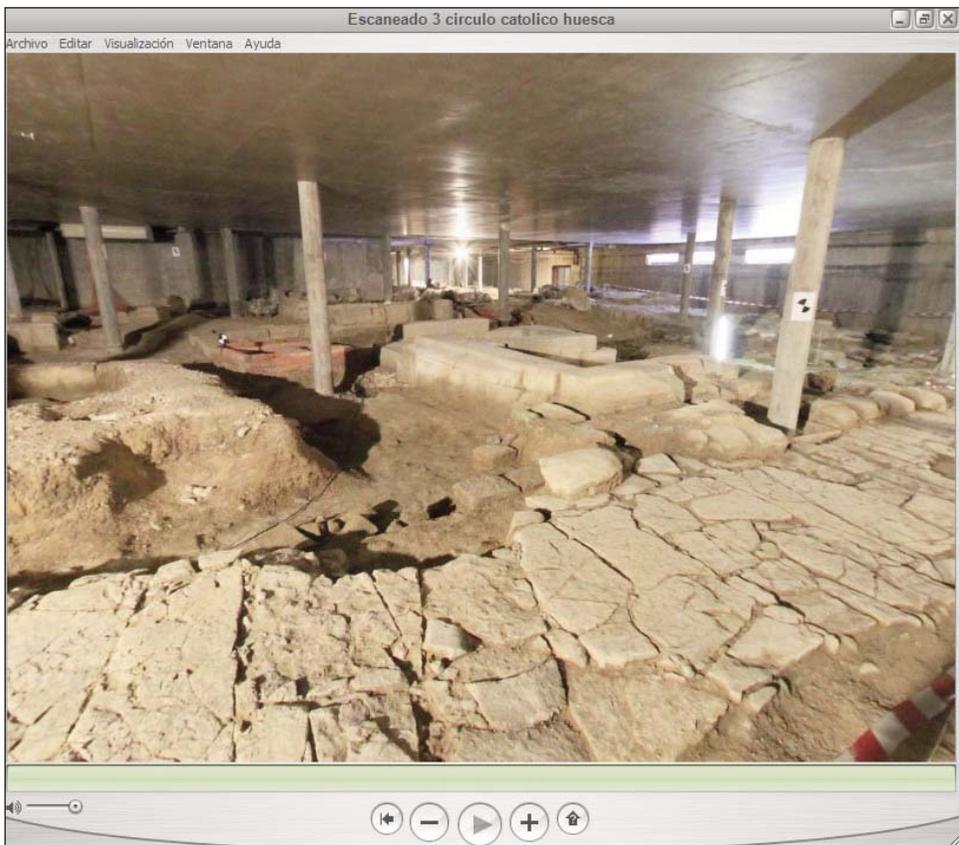


Fig. 9. Visor panorámico gráfico de cada uno de los escaneados realizados.

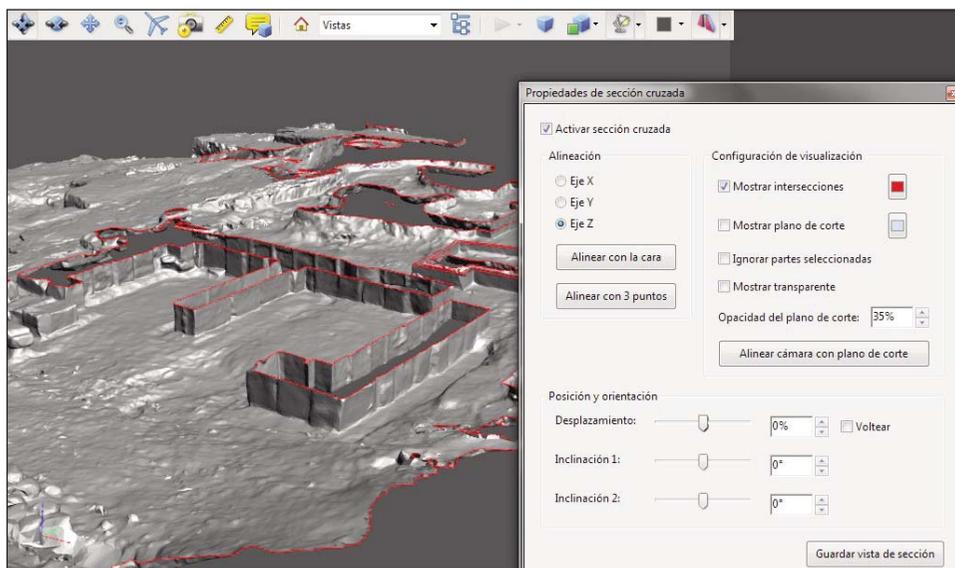


Fig. 10. Ejemplo de procesamiento de un archivo estándar PDF 3D.

Ficheros 3D del yacimiento en formato PDF 3D

Los archivos estándar PDF 3D del modelo tridimensional se crearon para conseguir una visualización práctica y sencilla por parte de cualquier usuario, y poder realizar cualquier medición, localización de coordenadas y sección en los ejes x , y , z (fig. 10).

Ficheros 3D del yacimiento en formato VRML

Los archivos VRML del yacimiento romano están texturizados con fotografías de alta calidad para una visualización sencilla por parte de cualquier usuario, y conservan un elevado nivel de detalle en la renderización (fig. 11).

Planimetrías y secciones

Además, se ha conseguido una amplia colección de planos de secciones transversales, longitudinales, vistas en planta y vistas isométricas del conjunto de los restos del Círculo Católico que pueden ser consultados en formato PDF (fig. 12).



Fig. 11. Malla tridimensional texturizada del conjunto arqueológico del Círculo Católico.

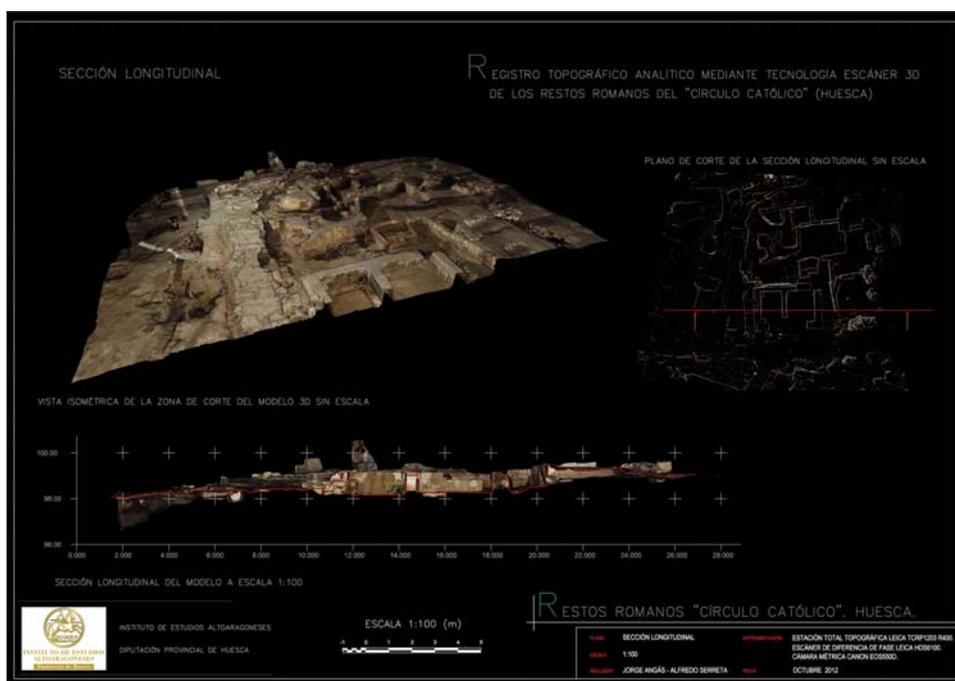


Fig. 12. Detalle de una de las planimetrías realizadas con una vista isométrica, planta sobre el modelo 3D y sección longitudinal del conjunto.

DISCUSIÓN

Todos los datos obtenidos mediante el uso de la tecnología láser escáner han permitido realizar una nueva interpretación arqueológica de la vivienda romana exhumada. Comenzaremos esta discusión describiendo los datos conocidos sobre la Casa de las Rosetas descritos en el trabajo de JUSTE (1994). El esquema de la vivienda se adaptó a dos elementos esenciales, el templo y el viario urbano, por lo que cabe suponer que su construcción sería posterior a estas dos infraestructuras urbanas y se incorporó al entramado urbano con su morfología en L (JUSTE, 1994: 153).

Según JUSTE (1994: 152), en su primera fase constructiva la vivienda se inscribió en un rectángulo de 12 × 7 metros, dispuesto en sentido este-oeste siguiendo la calle Norte. De este momento inicial se conservan el muro exterior norte, la esquina con el muro este, gran parte de la oeste —que quedó sepultada bajo el pavimento de otra habitación— y sillares aislados del muro sur, pero no es posible determinar las estancias que contenía. En esta fase se utilizaron sillares de modulación grande, de formato alargado o cúbico, que proporcionan una anchura muraria de 60 centímetros.

En un segundo momento se amplía la vivienda hacia el oeste añadiendo la estancia más lujosa, con *opus signinum*. El deterioro de la estancia principal permitió comprobar cómo absorbió y sepultó bajo su pavimento parte del primitivo muro exterior occidental; además, los muros de esta estancia se asentaron sobre el suelo natural, que en esta zona se encontraba más bajo. Para alcanzar la cota del resto de la vivienda se rellenó con diversos materiales (barniz negro B y cerámica indígena) y sobre este nivel se asentó la preparación del pavimento. En este caso se utilizaron sillares de una anchura inferior a los anteriores, en torno a los 40-50 centímetros (JUSTE, 1994: 152).

La última remodelación se sitúa en época romano-imperial, probablemente en los primeros momentos del Alto Imperio. Consistió en el añadido de al menos una estancia con pavimento romboidal (el muro cambia su ortogonalidad para no encontrarse con el templo) y un hogar en la zona sur central. La estancia pavimentada con latericio se asentó sobre una preparación en la que se han recuperado *terra sigillata*, vidrios y cerámica indígena ibérica anaranjada y gris.

Respecto a la distribución del espacio interior de la vivienda, la entrada principal, según JUSTE (1994: 153), se encontraba en la calle Norte, cerca de uno de los extremos, en la esquina del recinto primitivo. En el muro exterior todavía se mantuvieron las muescas del apoyo de la puerta, por la que se accedía a un pequeño vestíbulo cuadrado (1). A la derecha de este se encontraba la habitación más suntuosa de la casa (3). Esta dependencia, la más grande de todas, ocupaba aproximadamente un tercio del módulo superior y era la única pavimentada con *opus signinum*. Ostentó un formato alargado, irregular, de forma trapezoidal, motivado por su adaptación al espacio disponible entre las calles y el templo. El interior de la habitación poseía algunas peculiaridades en la disposición de su pavimento. Este *opus signinum* estuvo dividido en dos partes: un primer recuadro de 2×2 metros, que ocupaba parcialmente el tercio norte de la sala y que se encontraba remarcado por sillares en la zona este, configurando un pequeño espacio rectangular, y la segunda parte, el resto del pavimento, que abarcaba los dos tercios inferiores completos. La decoración es similar en ambos casos. El motivo del recuadro de 2×2 metros consta de una orla lineal con tres bandas de *tesellae* blancas, blancas y negras, y blancas; en el interior, rosetas estilizadas de cuatro pétalos negros y botón central blanco sin aparente esquema compositivo. El inferior es similar, aunque con una única banda lateral de *tesellae* blancas y las rosetas con los colores invertidos. Para JUSTE (1994: 153), según sus características, todo este espacio se conformaría como un *tablinum* (fig. 13).

Frente al vestíbulo, nada más entrar, se hallaba una estancia rectangular (2) que también debió de contar con un pavimento de *opus signinum* por los restos que se han conservado. Ocupaba aproximadamente la zona central y desde ella se podía acceder a la mayoría de los espacios, por lo que ejercía la función de distribuidor dentro de la vivienda. De este modo, JUSTE (1994: 156) lo califica de atrio, aunque no haya documentado los elementos esenciales de esta estructura arquitectónica.

El resto de las habitaciones de la zona norte obedecen a dos tipos. Un grupo estaría definido por estancias de pequeñas dimensiones, de tendencia cuadrada o rectangular (4, 5 y 6), que pudieron corresponder según JUSTE (1994: 156) a departamentos auxiliares o *cubicula*. Tampoco descarta que alguna de ellas, como la habitación 4, pudiese ser una taberna abierta al exterior, debido a que no se ha conservado el muro exterior en esta zona. El segundo

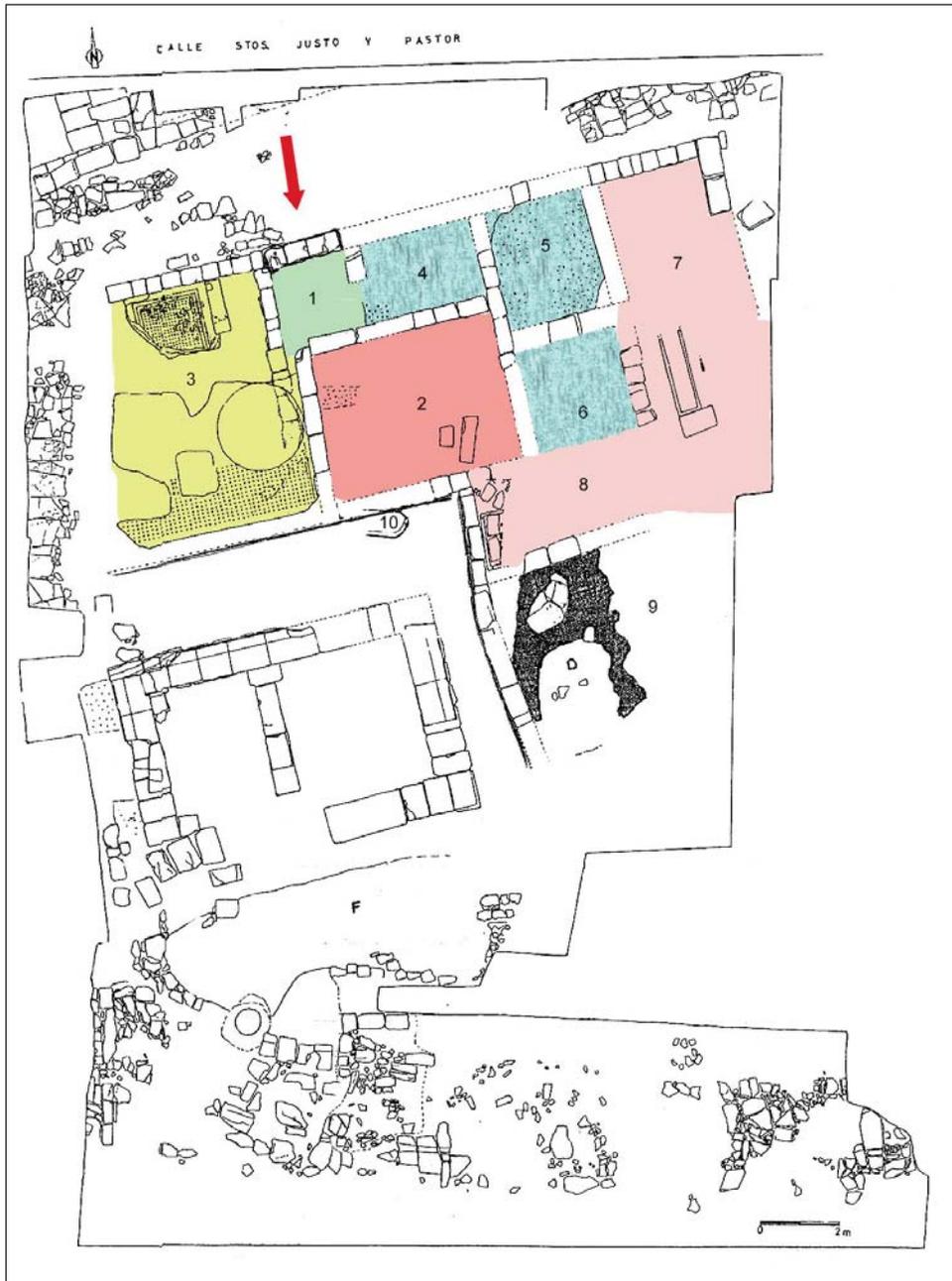


Fig. 13. La funcionalidad de los espacios de la Casa de las Rosetas según JUSTE (1994: 133-171).



Fig. 14. La funcionalidad de los espacios de la Casa de las Rosetas según ASENSIO (2003: 93-128).

grupo pertenece a dos espacios alargados (7 y 8) que se desconoce si estuvieron compartimentados o no. Su principal característica, que los unifica en su función, es la presencia de dos depósitos rectangulares de piedra. Por lo tanto, estas estancias se destinarían a almacenaje o bien al ejercicio de actividades domésticas. Se desconoce si la casa contaba con *hortus*, pero en la esquina noreste se aprecia un rebaje que pudo corresponder a una puerta.

En la tercera fase se amplía la zona sureste con una habitación pavimentada con ladrillos romboidales (9). El interior de la estancia estaba decorado con pintura de la que se ha conservado un fragmento de color rojo perteneciente al zócalo. El otro elemento incorporado en esta última reforma fue el hogar (10) que se añade en la estancia 2: se trata de una pieza de tendencia rectangular con un lateral redondeado y reborde exterior, con arcilla enrojecida y endurecida por el fuego, en cuyo interior se halló una densa capa de carbones. Junto al hogar se documentaron bloques pétreos correspondientes a la configuración del entorno del hogar.

En un estudio posterior, ASENSIO (2003: 95) demostró que en realidad la habitación 3 se estructuraría en dos espacios: un *oecus* decorado con el *signinum* en la zona sur, y en la parte norte un *cubiculum* con el mismo tipo de pavimento. A este dormitorio se accedería por el este, a través de una puerta de la que se ha conservado el umbral (fig. 14).

Ante la interpretación de Asensio nos planteamos para este trabajo revisar la ubicación y decoración exacta de los pavimentos de *opus signinum*.

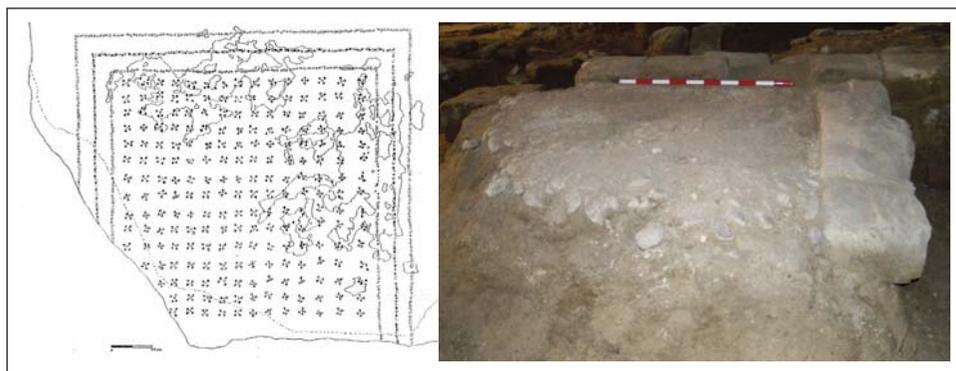


Fig. 15. Restitución del pavimento de *opus signinum* según JUSTE (1994: 133-171) y fotografía del estado actual.

Desgraciadamente, no han podido ser examinados directamente porque, desde su excavación en 1994, se han deteriorado tanto que prácticamente han desaparecido. De esta forma, únicamente se puede observar *in situ* su preparación. Ante esta dificultad hemos tenido que referirnos siempre al informe de JUSTE (1994) y a sus fotografías (fig. 15).

Una nueva interpretación de los espacios

En este estado de la argumentación, planteamos diferentes hipótesis basadas en los datos contrastados a través de la documentación geométrica mediante láser escáner. En nuestra opinión, el espacio 3 se configuraría también en dos partes diferenciadas, tal y como expuso Asensio. Esta afirmación se ve reforzada por el esquema decorativo del *opus signinum*. Ambos espacios se diferenciaron mediante la inversión de colores en la representación de las rosetas: las realizadas en el cuadrado de 2×2 metros,



Fig. 16. Esquema de la vivienda con la ubicación de los *opera signina*.

espacio 1, tuvieron los pétalos negros y la tesela central negra, mientras que en la franja rectangular, conservada más al sur, los pétalos fueron blancos y la tesela central negra (JUSTE, 1994: 153).

En relación con las dimensiones de este cuadrado, tal y como se muestra en la figura 16, no es imposible definirlo como *tablinum*, según la deducción de JUSTE (1994: 153), o como *oecus*, tal como expuso ASENSIO (2003: 95), ya que ambas estancias tendrían un tamaño superior.⁶

Por lo tanto, para el primer espacio planteamos dos posibles soluciones. La primera es que la estancia se extendiese hasta el muro de cierre oeste. El argumento a favor para tener en cuenta esta hipótesis es que, según las fotografías consultadas en los informes de excavación (JUSTE, 1994), se desconoce si la última línea de la orla dibujó un cuadrado o continuó hacia el oeste. Este hecho nos hizo pensar que se podría tratar de un *cubiculum*. De él se conservaría la parte del lecho, correspondiente a un tercio de la habitación. Sin embargo, estudiadas las dimensiones sobre la documentación geométrica recogida por el escáner láser, pensamos que este espacio no sería suficiente para ubicar un dormitorio.

La segunda hipótesis, la más coherente para nosotros, es que este espacio de pequeñas dimensiones estuviese clausurado lateralmente por un muro occidental que ha desaparecido, homólogo al ya existente en su lado oriental. En consecuencia, cabría preguntarse qué espacio de reducidas dimensiones dentro de una vivienda romana estuvo decorado ricamente. La solución es, tal y como expone PÉREZ RUIZ (2012: 24), considerarlo como un espacio donde se realizasen las actividades relacionadas con el culto privado, lugar donde pudo estar ubicado un *lararium* o *sacrarium* de madera. De pequeñas dimensiones, con paredes y pavimento decorado, podemos citar el paralelo de la Casa d'Argo (II, 2) de Herculano, datada en

⁶ Los *tablina* más antiguos del valle medio del Ebro son los identificados por BELTRÁN (1991: 152-153) en Celsa: la estancia 6 de la Casa de la Tortuga, la 7 de la Casa A I en su fase inicial, la 4 de la H II y la 7 de la Casa del Emblema. La mayoría de ellos estuvieron adosados al muro perimetral y abiertos en su totalidad al atrio. Igualmente, en todos los casos se trató de espacios de dimensiones semejantes: de 3,50 metros de ancho y longitudes que variaron entre 3,20 y 3,80 metros. En el caso del *municipium* de Bilbilis, en la Domus II el *tablinum* ocupó 3,30 metros de anchura por 3,90 metros, estuvo abierto totalmente al atrio y ocupaba la posición central, y el de la Domus I tuvo unas dimensiones de 3,60 × 4 metros (MARTÍN BUENO Y SÁENZ, 2001-2002: 127-158).

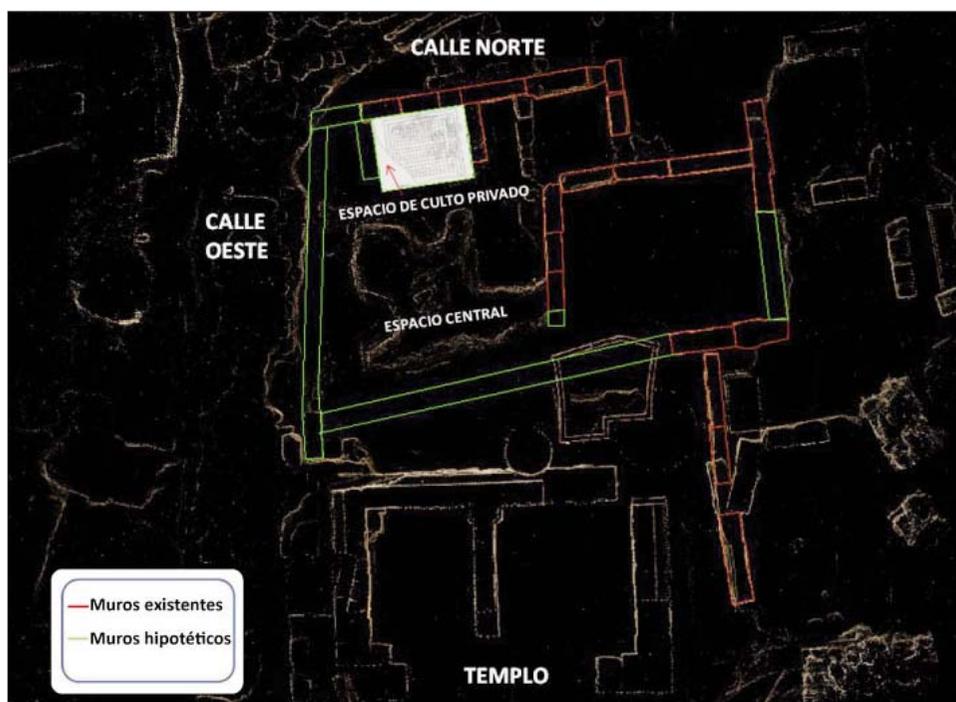


Fig. 17. Hipótesis sobre la funcionalidad de los espacios de la Casa de las Rosetas.

época augustea y con unas dimensiones de $2,9 \times 2,98$ metros (BASSANI, 2010: 112) (fig. 17).

La identificación de este espacio 1 como un larario estaría directamente relacionada con el resto del espacio que Juste consideró una única habitación. La conservación únicamente de una franja rectangular de decoración pavimental podría estar indicando una zona de paso. Así sucedió en la estancia A2 de la Villa Prato de Sperlonga (segunda mitad del siglo II a. C.), donde la gran cantidad de tejas documentadas y la inserción de teselas en determinados puntos del pavimento hacen pensar a BROISE y LAFON (2001: 59) que se trataría de una especie de patio interior. También conocemos corredores de *peristila* decorados con rosetas blancas y central negra; véanse la Casa VII, 2, 16-17, la Casa de M. Gavius Rufus y la Casa VII, 2, 20, 40, todas ellas ubicadas en Pompeya. Consecuentemente pensamos que estaríamos ante el espacio central de la vivienda, quizá un atrio testudinado o compluviado, al que quedaría abierto el larario.



Fig. 18. La funcionalidad de los espacios de la Casa de las Rosetas según URIBE.

Para concluir, cabe destacar que esta hipótesis de trabajo invita a una prudencia extrema a la hora de interpretar una documentación tan fragmentada. Sin embargo, si esta hipótesis se confirmase estaríamos ante el espacio destinado al culto privado más antiguo del valle medio del Ebro, entendiendo como culto privado el conjunto de ritos dedicados a la veneración de las divinidades del hogar y de la familia que se desarrollaban en un espacio *ad hoc*.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto de Estudios Altoaragoneses la concesión de la Ayuda para Proyectos de Investigación en la convocatoria 2011-2012 con la que se ha podido realizar este estudio interdisciplinar. Del mismo modo, agradecen la disponibilidad y amabilidad de Emilio Lanau, de Suelo y Vivienda de Aragón (SVA), y de los responsables de patrimonio cultural del Gobierno de Aragón, por la aprobación de los permisos necesarios para la elaboración de este estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGÁS, J., y A. SERRETA (2010). Assessment, dissemination and standardization of geometric data recording of Archaeological Heritage obtained from 3D laser scanning. En *Actes du Colloque Virtual Retrospect 2009*: 187-193. CNRS. Burdeos.
- ANGÁS, J., P. URIBE y A. SERRETA (2012). Social Spreading of Geometric, Recorded Data from a Range of Types 3D Scanners via a Web Data Server. *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*. University of Southampton.
- ASENSIO ESTEBAN, J. Á. (2003). El *sacellum in antis* del “Círculo Católico” de Huesca (*Osca*, Hispania Citerior), un ejemplo precoz de arquitectura templaria romana en el valle del Ebro. *Saldvie*, 3: 93-128.
- BASSANI, M. (2011). Strutture architettoniche a uso religioso nelle domus e nelle villae della Cisalpina. En *Religionem significare: aspetti storico-religiosi, strutturali, iconografici e materiali dei Sacra privata. Atti dell’Incontro di Studi (Padova, 8-9 giugno 2009)*: 99-134. Quasar (“Antenor Quaderni”, 19). Roma.
- BELTRÁN LLORIS, M. (1991). La Colonia Celsa. En *Actas de la casa urbana hispanorromana (Zaragoza, 1988)*: 131-164. IFC. Zaragoza.
- BROISE, H., y X. LAFON (2001). *La Villa Prato de Sperlonga*. École française de Rome. Roma.

- JUSTE ARRUGA, N. (1991-1995). *Informes de la excavación presentados a la DGA entre los años 1991-1995*.
- JUSTE ARRUGA, N. (1994). Excavaciones en el solar del Círculo Católico (Huesca): un fragmento de la ciudad Sertoriana. *Bolskan*, 11: 133-171.
- JUSTE ARRUGA, N. (2000). Bolskan-Osca, ciudad iberorromana. *Empúries*, 52: 87-106.
- MARTÍN-BUENO, M., y J. C. SÁENZ PRECIADO (2001-2002). La Insula I de *Bilbilis* (Calatayud-Zaragoza). *Saldvie*, 2: 127-158.
- PÉREZ RUIZ, M. (2007-2008). El culto en la casa romana. *AnMurcia*, 23: 195-225.
- PÉREZ RUIZ, M. (2008). Un caso singular de estatua romana de culto doméstico. *AEspA*, 81: 273-287.
- PÉREZ RUIZ, M. (2010). Aproximación al culto doméstico en la Hispania romana: algunas consideraciones. *Bollettino di Archeologia on line*, 1-8 <<http://www.academia.edu/1961230>>.
- PÉREZ RUIZ, M. (2012). El valor del culto en el paisaje doméstico: el caso hispano. En *Actas de los Encuentros de Jóvenes Investigadores de Historia Antigua (2010-2011)*: 227-239. Madrid.
- ROYO GUILLÉN, J. I., y cols. (2009). Excavar, proteger y musealizar: el caso de la arqueología urbana en Huesca en los albores del tercer milenio. En A. Domínguez Arranz (ed.), *El patrimonio arqueológico a debate: su valor cultural y económico (actas de las Jornadas celebradas en Huesca, 7 y 8 de mayo de 2007)*: 125-172. IEA. Huesca.
- URIBE AGUDO, P. (2004). Arquitectura doméstica en *Bilbilis*: la Domus I. *Saldvie*, 4: 191-220.
- URIBE AGUDO, P. (2008). *La edificación doméstica urbana romana en el nordeste de la Península Ibérica (siglos I a. C. – III d. C.)*. Tesis doctoral inédita. Universidad de Zaragoza.
- URIBE AGUDO, P. [en prensa]. La arquitectura doméstica romana urbana en el valle medio del Ebro (siglos II a. C. – III d. C.). *Aquitania Suppl.* Burdeos.

NOTAS

NOTA SOBRE LA PRESENCIA DE ESPELEOTEMAS DE YESO EN EL SISTEMA ESPELEOLÓGICO DE LECHERINES (BORÁU Y VILLANÚA, HUESCA)

José Antonio CUCHÍ^{1,2}
Sergio BURGUETE³
Laureano GÓMEZ³
Mario GISBERT³
José Antonio MANSO¹

INTRODUCCIÓN

El Alto Aragón es rico en cavidades abiertas en diversas litologías, especialmente en calizas, aunque también las hay en conglomerados y yesos. Estas cuevas tienen una elevada riqueza en espeleotemas de diversas naturalezas y morfologías. Las abiertas en materiales carbonatados presentan una clara dominancia en depósitos secundarios de carbonato cálcico de los que, a nivel mundial, HILL y FORTI (1997) indican que suponen el 99% de los estudiados. Sin embargo, no todos los presentes en cuevas calcáreas tienen esta naturaleza. Esta nota preliminar documenta la

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

² Centro de Espeleología de Aragón. C/ Escultor Moreto, 15. E-50008 ZARAGOZA.

³ Grupo de Tecnologías en Entornos Hostiles. Instituto Universitario de Investigación de Ingeniería de Aragón (I3A). Edificio I+D+i. Universidad de Zaragoza. C/ Mariano Esquillor, s/n. E-50018 ZARAGOZA.

presencia de estalactitas de yeso en una cavidad del sistema espeleológico de Lecherines, en los términos municipales de Boráu y Villanúa.

EL SISTEMA ESPELEOLÓGICO DE LECHERINES

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. Se accede a este sistema por diversas bocas situadas entre 1870 y 2100 metros, en un pronunciado lapiaz estructural. En 1994, mediante el uso de trazadores, se determinó que el río subterráneo localizado en este sistema alimenta las fuentes de Casa Artillero en Villanúa. Están situadas a una cota de 950 metros sobre el nivel del mar, y claramente relacionadas con la cueva de Esjamundo. La distancia en línea recta entre bocas y surgencia supera los 7,5 kilómetros.

La geología de la zona de los mallos de Lecherines está formada por areniscas de color pardo. En el paisaje son muy patentes la formación Areniscas de Marboré, del Cretácico superior, y las calizas y dolomías gris azulado muy claro del Paleoceno (formación Salarons). La segunda unidad es muy karstificable, al contrario de lo que sucede con la primera. Ambas se encuentran replegadas formando un espectacular apilamiento de pliegues en rodilla cabalgados hacia el sur, cuyo esquema se presenta en TEIXELL y GARCÍA-SAN SEGUNDO (1995).

Hacia el sur, prácticamente desde el collado de la Magdalena, se pasa a las turbiditas de Hecho, también denominadas *flysch*, formadas por una alternancia de capas decimétricas de margas y areniscas de color gris en fresco, que han sido profundamente replegadas por la tectónica alpina. Son muy impermeables y nada karstificables. Sin embargo, dentro de estos materiales se han identificado ocho megacapas calizas de entre 10 y 200 metros de potencia y gran extensión lateral. Dada su mayor dureza, forman crestones que resaltan el paisaje, como el de la Espata, al sur de Collarada. La mayor parte de las megacapas confinan a techo y muro con materiales turbidíticos, de modo que hidrológicamente se encuentran aisladas. Sin embargo, en el valle del Aragón la capa número 3, o de Villanúa, tiene su base conectada de forma directa, aunque discordante, sobre las calizas del Paleoceno y Eoceno superior (LABAUME y cols., 1985). Esto supone una importante continuidad a efectos kársticos.

La exploración espeleológica ha sido realizada fundamentalmente por el Centro de Espeleología de Aragón (CEA), a partir de campañas sistemáticas iniciadas en 1987, aunque ya se trabajaba en la zona desde 1975. Información espeleológica más detallada se puede encontrar en GISBERT y ANSÓ (1996) y GISBERT (2011). En la actualidad se han unido cinco simas (C-12, C-13, B-13, B-18 y B-28) y se han explorado 15 540 metros de desarrollo con 1009 metros de desnivel, de modo que se trata de uno de los principales sistemas subterráneos españoles. Cuenta, además, con once pozos que superan los 70 metros de vertical. En la zona, además del sistema Lecherines, el CEA ha catalogado 328 cavidades cuya característica común es el predominio del desarrollo vertical sobre el horizontal: veintinueve tienen más de 50 metros de profundidad, seis han superado los 100 metros, cinco pasan de 150 metros y dos superan los 200 metros. Es de destacar también la gruta Helada de Lecherines, en cuya boca se forma un depósito temporal de hielo durante el invierno. Cuenta con tres entradas a diferente cota, un desnivel de 124 metros y un desarrollo de 780 metros.

El sistema de Lecherines presenta una dirección predominante NNE-SSO, siguiendo la dirección general de las grandes fracturas cartografiadas en IGME (1994) y que se observan claramente en superficie como importantes canales ampliados por karstificación y flujo glaciar.

En el sistema se diferencian dos zonas. En la superior predominan una serie de galerías y pozos fósiles, caracterizados por un estado inestable y

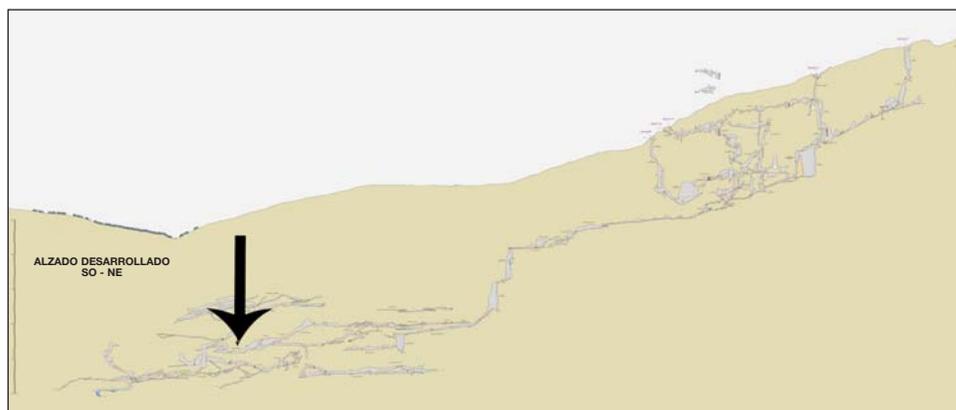


Fig. 1. Alzado del sistema espeleológico Lecherines, por el CEA. La flecha indica la ubicación de la sala de la Nieve.

descompuesto (galería Irene y pozos de enlace de la C-12 con la sala Camboya). En profundidad hay una zona activa por la que discurre un curso de agua cuyo caudal se incrementa con la profundidad. Esta parte activa corresponde a los pozos de la B-13 y la B-18, y es la que profundiza hasta los -1009 metros. La figura 1 presenta el alzado topográfico de la cavidad, realizado por el CEA.

Durante la exploración, en una galería a -850 metros de profundidad, se apreció la presencia de unos raros espeleotemas, muy frágiles. Se desprendían parcialmente y caían con lentitud al paso de los exploradores, por lo que esta zona fue comprensiblemente bautizada como *sala de la Nieve*. Aparecen formando flores, para algunos clasificables como *anthoditas*, como muestra la figura 2; largos filamentos, con algún carácter de helictitas, que pueden verse en la figura 3, o fibras, en la figura 4.

LAS FLORES DE YESO

Durante algún tiempo se especuló sobre la naturaleza del material de las flores. Incluso se les llegó a calificar como cristales de mirabilita o thenardita, variedades en diferente grado de hidratación del sulfato sódico.

Aprovechando una entrada, en septiembre de 2011 se extrajo una pequeña cantidad de este material que se analizó en los laboratorios de la Escuela Politécnica Superior de Huesca. La muestra se recogió en un recipiente habitual para análisis clínico de una zona donde el daño era menor (fig. 4). Al llegar al laboratorio, la muestra estaba ligeramente vapuleada tras el ascenso desde la cavidad, el traslado en una mochila hasta el coche y el consiguiente traqueteo de la pista. Presentaba un aspecto similar al algodón en rama; al microscopio mostraba un aspecto fibroso, con finas agujas parcialmente traslúcidas. No pudo observarse la presencia de conductos capilares, pero sí la de minúsculos cristales planos de reducidas dimensiones.

Se realizaron inicialmente una serie de sencillos exámenes. No se produjo burbujeo por ataque con disolución de HCl 1N, aunque la muestra se disolvió sin problemas. Lo mismo sucedió en agua desionizada. Se descartó, por tanto, que se tratara de un carbonato de calcio o magnesio. La sim-



Fig. 2. Flor de yeso en el sistema de Lecherines.

ple adición de una sal de bario llevó a la formación de un abundante precipitado propio de la presencia de abundantes sulfatos. La solución acuosa se llevó a un equipo de Espectroscopia de Absorción Atómica Varian AA 10. En el primer barrido, de tipo cualitativo, se descartó la presencia de sodio y se comprobó la de calcio y magnesio. Un análisis cualitativo mediante la misma técnica mostró una relación de 350 iones de calcio por 1 de magnesio. Todos estos resultados son congruentes con una disolución de yeso.

Dado que se les puede aplicar una naturaleza yesífera, cabe especular un poco sobre el origen del yeso y la génesis de estos espeleotemas. Evidentemente se producen por reprecipitación de yeso disuelto, que puede provenir de uno de los siguientes mecanismos básicos:

- Yeso sedimentario disuelto por aguas meteóricas, típico de cavidades abiertas en formaciones yesíferas. En el Alto Aragón, estas se dan en la franja de la formación Yesos de Barbastro, desde el



Fig. 3. Helictitas de yeso en la sala de la Nieve del sistema de Lecherines.



Fig. 4. Yeso fibroso en la sala de la Nieve del sistema de Lecherines.

oeste de esta localidad hasta el límite con Cataluña, con alguna información en CALAFORRA y PULIDO-BOSCH (1989) y en CALAFORRA (1998).

- Precipitación de yeso producido por reacción entre los sulfatos y la caliza. El primero proviene de la oxidación de nódulos de sulfuro, tipo pirita, por aguas meteóricas infiltradas. Como subproducto se producen oxihidróxidos de hierro.
- Reacción entre la caliza y los sulfatos o el ácido sulfúrico presente en aguas hidrotermales. Es el caso de las cavidades de Naica, en Chihuahua (México).
- Reacción entre la caliza y el sulfúrico derivado de la oxidación de sulfuro de hidrógeno presente en el gas natural y el petróleo, como es el caso de la cavidad de Carlsbad, en Nuevo México (Estados Unidos).

- Reacción entre la caliza y los sulfatos derivados de la descomposición de materia orgánica tipo guano.

Dada la información geológica de la zona, en el presente caso estaríamos ante el segundo supuesto. Es cierto que no hay información explícita sobre la presencia de sulfuros en las calizas de la sala de la Nieve. Sin embargo, en la superficie se observa esporádicamente la presencia de manchas ferruginosas en las calizas de la zona. Estas pueden ser de origen primario, tipo *hardground*, o subproducto, como se ha comentado, de la hidrólisis de los sulfuros. Un segundo aspecto a tener en cuenta es la existencia de cantos rodados con recubrimiento ferruginoso en una galería en la zona nueva de la cueva de Esjamundo, un tema de investigación pendiente.

Se han dado varias explicaciones para la génesis de espeleotemas yesíferos, tanto en medios aéreos como bajo el agua. En el primer caso, se forman por evaporación de la solución rica en yeso en galerías secas, como señala PALMER (1981) para Mammoth Cave. Un caso singular es el descrito por KORSHUNOV y SHAVRINA (1998), que proponen un mecanismo de sobresaturación por congelación y posterior sublimación del hielo en cavidades abiertas en yesos del Pérmico, en las cercanías del mar Blanco. Ejemplos de las implicaciones paleoclimáticas en la presencia de espeleotemas en estos materiales se encuentran en CALAFORRA y cols. (2008) y GÁZQUEZ y cols. (2011).

Por otro lado, en medio subacuático por sobresaturación se produce el crecimiento de cristales, que pueden alcanzar grandes dimensiones, como en Pulpí (Almería) y Naica (México). Un caso mixto es la formación de pequeños cristales epitáxicos sobre grandes cristales, debido al ascenso capilar y la evaporación en el medio aéreo (BERNABEI y cols., 2007).

En el caso actual parece bastante claro que se trata de un crecimiento subaéreo, ligado a evaporación en galerías muy secas, aunque con temperaturas por debajo de los 10 °C. Estas condiciones son ligeramente más bajas que las indicadas por GÁZQUEZ y cols. (2011) o las de la cueva de Canelobre, en Alicante, que presentan CUEVAS-GONZÁLEZ y cols. (2010). Queda pendiente el mecanismo de formación de las agujas. Podrían ser debidas a un proceso de capilaridad, donde tal vez habría que tener en cuenta la presión intersticial en la roca. También está pendiente de conocer la razón de la sequedad de esta galería, en una zona relativamente activa.

Debe evitarse la calificación de estos espeleotemas como *anthoditas*. Por un lado, su clasificación morfológica y genética está sometida a controversia, como muestra la polémica entre DAVIS (1996) y WHITE (1996). Sin embargo, ambos autores parecen concordar en la presencia de aragonito en este tipo de formaciones, que no aparece en el caso que nos ocupa.

CONCLUSIONES

Es evidente el interés, no solo espeleológico, del sistema de cavidades de Lecherines. Su actual y potencial desarrollo, a la vista de su conexión hidrológica con las surgencias de Villanúa, hace de interés su estudio.

En esta nota se analiza un tema secundario como es la presencia de espeleotemas, calificables, genéricamente, como flores de yeso. Estas parecen haberse formado por alteración acuosa de sulfuros y reacción de las soluciones con la caliza encajante. Posteriormente estas soluciones se evaporan en una galería seca, dando estas formaciones bellas pero frágiles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNABEI, T., P. FORTI y R. VILLASUSO (2007). Sails: a new gypsum speleothem from Naica, Chihuahua, Mexico. *International Journal of Speleology*, 36(1): 23-30.
- CALAFORRA, J. M.^a (1998). *Karstología de yesos*. Universidad de Almería / Instituto de Estudios Almerienses (Monografías de Ciencia y Tecnología). Almería. 389 pp.
- CALAFORRA, J. M.^a, P. FORTI y Á. FERNÁNDEZ-CORTÉS (2008). Speleothems in gypsum caves and their paleoclimatological significance. *Environmental Geology*, 53: 1099-1105.
- CALAFORRA, J. M.^a, y A. PULIDO-BOSCH (1989). Principales sistemas kársticos en yesos de España. En J. J. Durán Valseiro y J. López Martínez (eds.), *El karst en España: 277-294*. Sociedad Española de Geomorfología. Madrid.
- CUEVAS-GONZÁLEZ, J., Á. FERNÁNDEZ-CORTÉS, M.^a C. MUÑOZ-CERVERA, D. BENAVENTE, M.^a Á. GARCÍA DEL CURA, J. M. ANDREU, J. C. CAÑAVERAS (2010). Mineral-Forming Processes at Canelobre Cave (Alicante, SE Spain). *Advances in Research in Karst Media. Environmental Earth Sciences*: 503-508.
- DAVIES, D. G. (1996). What are *Anthodites*? Continued. *Journal of Caves and Karst Studies*, 58(1): 54.
- GÁZQUEZ, J., J. M.^a CALAFORRA, L. SANNA y P. FORTI (2011). Espeleotemas de yeso: ¿un nuevo proxy paleoclimático? *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección Geología*, 105(1-4): 15-24.

- GISBERT, M. (2011). El sistema Lecherines. *CIIA*, 6: 15-22.
- GISBERT, M., y C. ANSÓ (1986). El sistema Lecherines. Macizo del Aspe. Pirineo central. *Subterránea*, 4: 38-47.
- HILL, C. A., y P. FORTI (1997). *Cave Minerals of the World*. National Speleological Society. Huntsville (Alabama). 464 pp.
- IGME (1994). *Mapa geológico de España 1: 50 000. Hoja 144: Ansó*. Madrid. 62 pp., 1 mapa.
- KORSHUNOV, V. V., y V. E. SHAVRINA (1998). Gypsum Speleothems of Freezing Origin. *Journal of Cave and Karst Studies*, 60(3): 146-150.
- LABAUME, P., M. SÉGURET y C. SEYVE (1985). Evolution of a turbiditic foreland basin and analogy with an accretionary prism: Example of the Eocene South-Pyrenean basin. *Tectonics*, 4(7): 661-685.
- PALMER, A. N. (1981). *A geological guide to Mammoth Cave National Park*. Zephyrus Press. Teaneck (Nueva Jersey). 196 pp.
- TEIXELL, A., y J. GARCÍA-SANSEGUNDO (1995). Estructura del sector central de la Cuenca de Jaca (Pirineos meridionales). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 8(3): 215-228.
- WHITE, W. B. (1996). What are *Anthodites*? Reply. *Journal of Caves and Karst Studies*, 58(1): 55.

NOTA SOBRE LA PRESENCIA DE *MOONMILK* EN UNA CAVIDAD DEL VALLE DE HECHO (HUESCA)

José Antonio CUCHÍ^{1,2}
Laureano GÓMEZ³
Mario GISBERT³
Marcos PASTOR³
José Luis ASENSIO³
José Luis MONTAÑÉS³
José Antonio MANSO¹

INTRODUCCIÓN

Desde sus primeras citas, en el siglo XVI, se conoce como *monmilk*, *moonmilk*, *Mondmilch*, *Monmilch* o *leche de luna* una suspensión coloidal de aspecto blanquecino que se puede encontrar en cavidades kársticas. Evidentemente, su nombre está relacionado con su aspecto. Desde su primera cita, y especialmente desde el auge de la espeleología deportiva y científica a finales del siglo XX, ha ido creciendo el número de sus citas, especialmente en publicaciones deportivas. Sin embargo, desde 1970 hay cierto interés por las características químicas y de todo tipo de este peculiar material. Aunque en nuestro país existían diversas referencias, es en DURÁN

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

² Grupo de Tecnologías en Entornos Hostiles. Instituto Universitario de Investigación de Ingeniería de Aragón (I3A). Edificio I+D+i. Universidad de Zaragoza. C/ Mariano Esquillor, s/n. E-50018 ZARAGOZA.

³ Centro de Espeleología de Aragón. C/ Escultor Moreto, 15. E-50008 ZARAGOZA.

y cols. (2001) donde se presenta el primer trabajo de síntesis sobre su existencia en España. Estos autores citan varias cavidades, ninguna del Pirineo, y realizan consideraciones sobre su génesis ambiental.

A nivel mundial, los diferentes trabajos sobre la composición del *moonmilk* muestran que esta es muy variada. Predominan calcita, aragonito, dolomita, huntita e hidromagnesita, entre otros. Pueden presentarse casos mixtos. También se han descrito depósitos de yeso y silicatos. Los depósitos tipo calcítico parecen ser los más abundantes. A modo de ejemplo, en España se ha descrito *moonmilk* calcítico en Altamira, Cantabria (CUEZVA y cols., 2003). En este trabajo se ha puesto de manifiesto la existencia de interesantes colonias bacterianas. De tipo magnésico son los depósitos de hidromagnesita en Pozalagua (MARTÍNEZ-ARKARAZO y cols.,

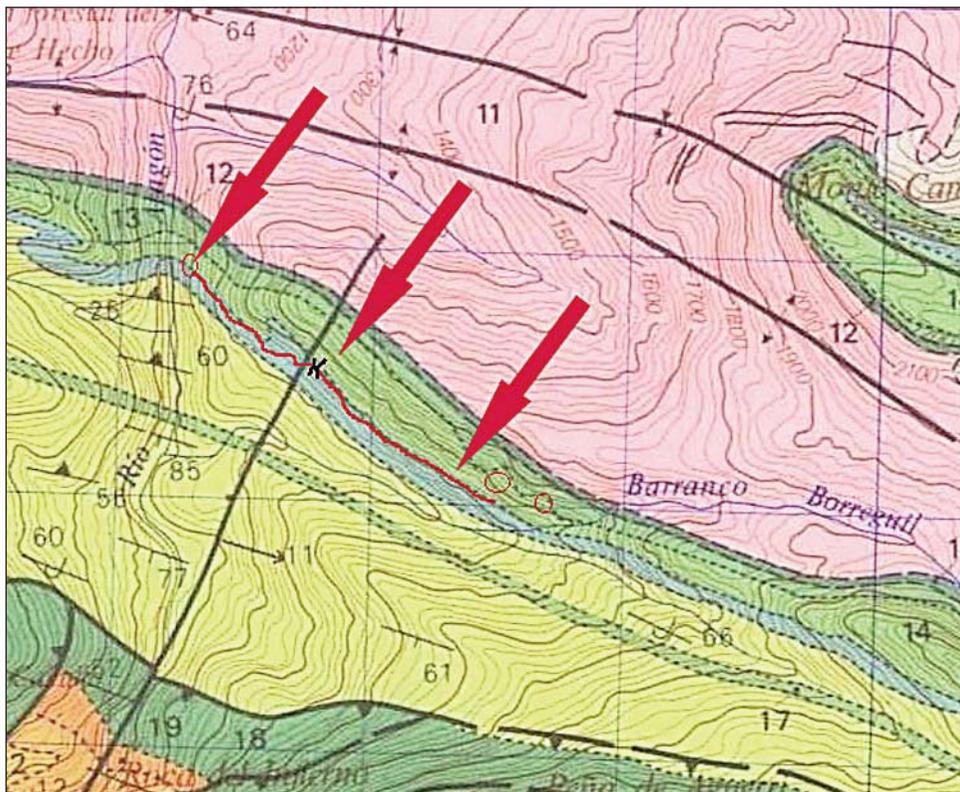


Fig. 1. Geología de la cueva del Castillo, según el IGME (1994).

2007); de dolomita y huntita en Castañar del Ibor, Cáceres (ALONSO-ZARZA y cols., 2005), y de gibsita en la cueva-sima de Alzola, Guipúzcoa (GALÁN y LEROY, 2006).

Hasta el presente, no se conocen citas de *moonmilk* en la provincia de Huesca, aunque ya se había observado en la cueva 5 de Agosto de Saravillo por Mario Gisbert.

La cueva del Castillo está situada en la orilla izquierda del río Aragón Subordán, en el valle de Oza (Hecho). Se abre en el flanco meridional de un gran anticlinal de eje noroeste-sureste, que afecta tanto a materiales del Paleozoico como de la cobertera alpina. La cavidad está excavada en materiales del Cretácico superior, en una barra de calizas con rudistas de la formación Larra, bastante verticalizadas, que tiene a techo otra capa de calarenitas del Santoniense. Como se ve en la figura 1, una gran falla noreste-suroeste corta los materiales alpinos.

Durante los trabajos de exploración espeleológica llevados a cabo por el Centro de Espeleología de Aragón en la cueva del Castillo, se observó un depósito de este material. La figura 2 muestra un alzado topográfico muy esquemático de la cavidad, realizado por el grupo ERE del Centro Excursionista de Cataluña, que se presenta en BOSCH (1994). La flecha en la figura 2 presenta el lugar donde se ha encontrado un charco con presencia de *moonmilk*. Este se halla en las inmediaciones del gran salto existente que se observa en el perfil topográfico de la cavidad, probablemente relacionado con la falla de la figura 1. El depósito se encuentra en la base de un pozo

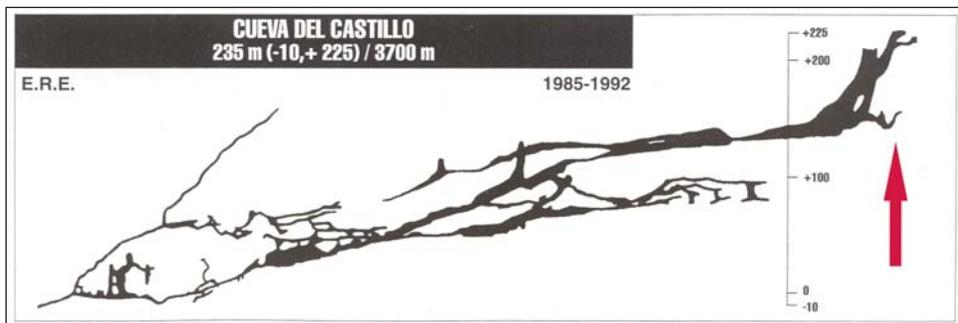


Fig. 2. Alzado de la cueva del Castillo realizado por el ERE del Centro Excursionista de Cataluña.



Fig. 3. Colada de *moonmilk* en el suelo de la cueva del Castillo.

de 15 metros, a +140 metros de la surgencia, a +90 de la boca y a 800 metros en el recorrido desde la entrada. En esta zona cambia la morfología de la cavidad, que en su parte final es un meandro desfondado.

Una muestra de la sustancia se recogió con cuidado dentro de un recipiente de plástico herméticamente cerrado. Es una sustancia blanca, con alguna mancha difusa de color rojizo, tipo arcilla de descalcificación. La muestra se trasladó a los laboratorios de la Escuela Politécnica Superior de Huesca, donde se estudió su contenido en agua por desecación a 110 °C y 160 °C en estufa y posterior pesada. Una cantidad dada de material seco se atacó en HCl, produciendo un característico burbujeo, y se enrasó a 100 mililitros con agua desionizada. La presencia de iones de calcio y de magnesio en la solución se realizó por medio de espectroscopia de absorción atómica.

Los resultados muestran un elevado contenido de agua no molecular, del orden de un 90%, y un leve valor de un 0,07% de agua molecular que

quizás sea un error de método. Evidentemente, el contenido en agua será mayor dentro de la cavidad, dado que se ha observado una tendencia a la decantación conforme envejece el material almacenado.

Sobre la muestra seca, se ha observado que un 40,5% de la misma es calcio. Solo un 0,05% era magnesio. Estos resultados hacen suponer que la muestra es carbonato de calcio bastante puro. Por tanto, estaríamos en presencia de un *moonmilk* de calcita o aragonito. Su caracterización más específica necesitaría, evidentemente, técnicas más complejas. Una vez más, el tema queda abierto para posteriores investigaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO-ZARZA, A. M.^a, A. MARTÍN-PÉREZ, I. GIL-PEÑA, E. MARTÍNEZ-FLORES y P. MUÑOZ-BARCO (2005). Formación de dolomita y huntita en depósitos de *moonmilk* en la cueva de Castañar del Ibor (Cáceres). *Geogaceta*, 38: 248-250.
- BOSCH, M. (1994). Les campanyes de l'ERE al Alt Aragó. *Espeleòleg*, 40: 40-68.
- CUEZVA, J., J. C. CAÑAVERAS, R. GONZÁLEZ, J. LARIO, L. LUQUE, C. SAIZ-JIMÉNEZ, S. SÁNCHEZ-MORAL y V. SOLER (2003). Origen bacteriano de espeleotemas tipo *moonmilk* en ambiente kárstico (cueva de Altamira, Cantabria, España). *Estudios Geológicos*, 59: 145-157.
- DURÁN, J. J., J. LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. L. MARTÍN DE VIDALES, J. CASAS y J. BAREA (2001). El *moonmilk*, un depósito endokárstico singular. Presencia en cavidades españolas. *Geogaceta*, 29: 43-46.
- GALÁN, C., y E. LEROY (2006). Mondmilch de gibsita en la sima-mina de Alzola (determinaciones en MEB y microanálisis EDX). *Boletín Sedeck*, 6: 66-71.
- IGME (1994). *Mapa geológico nacional 1: 50 000. Hoja 144: Ansó. Memoria*. 62 pp. + 1 mapa.
- MARTÍNEZ-ARKARAZO, I., M. ANGULO, O. ZULOAGA, A. USOBIAGA y J. M. MADARIAGA (2007). Spectroscopic characterisation of moonmilk deposits in Pozalagua tourist Cave (Karrantza, Basque Country, North of Spain). *Spectrochimica Acta Part A*, 68: 1058-1064.

NOTA SOBRE VENTIFACTOS EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO ALCANADRE (SARIÑENA, HUESCA)

José Antonio CUCHÍ¹
Raúl ANDRÉS¹
David BADÍA¹
Clara MARTÍ¹

En la zona semiárida monegrina se observan diversos macro y meso-indicadores de erosión eólica. Al norte de la sierra de Alcubierre, en los afloramientos de arenisca de la formación Sariñena del Mioceno continental del valle del Ebro, el viento ha configurado los *montes tubo*, característicos cerros testigo de planta cilíndrica. Tanto en sus paredes como en los cercanos escarpes se presentan numerosos tafonis y alveolos. SANCHO y cols. (2004a) describen estos procesos para los *torrollones* de Gabarda. MARÍN y cols. (2011) presentan dataciones de algunos depósitos eólicos de la misma zona. Al sur de Alcubierre, en litología predominantemente yesífera, se ha sugerido que algunas de las depresiones de la plataforma Bujaraloz-Sástago pueden tener un origen, al menos parcialmente, eólico. Se ha descrito la existencia de pequeñas dunas fósiles en las lagunas salobres y temporales de la Playa, Pez y Pueyo. En la actualidad, en esta misma zona, y en otoños secos, el cierzo arrastra abundante material de los terrenos labrados y sembrados *en seco*, obligando a cortar la circulación, por falta

¹ Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. cuchi@unizar.es, randresm@unizar.es, badia@unizar.es, cmarti@unizar.es

de visibilidad, en la carretera de Bujaraloz a Caspe. Simultáneamente existen noticias de la formación actual de pequeñas dunas, de algunos centímetros de altura, en zonas protegidas.

A estos claros indicios se une la presencia esporádica, en el valle del Ebro, de ventifactos, también conocidos en la literatura científica como *Dreikanter*, *cailloux façonnés* o *Fazettengeschiebe*. Son cantos de roca modelados y pulidos por una prolongada exposición al viento, que adquieren forma y pulido muy característicos. Bajo una única dirección de viento dominante, la superficie expuesta de los cantos se desgasta, con lo que presenta un frente abrupto y dos típicos laterales a modo de tejado a dos aguas. De ahí deriva su nombre germánico de *Dreikanter*. Si hay varias direcciones de viento, o si el canto se mueve, podrían alcanzar una forma poligonal. Se forman típicamente en ambientes desprovistos de vegetación, desérticos o periglaciares, preferentemente sobre rocas duras de grano fino como obsidiana, sílex o cuarcitas, aunque se documentan en granito y otras rocas.

En el valle del Ebro se han encontrado ventifactos en la superficie de una terraza alta del Ebro, entre los barrancos del Bayo y de Juan Gastón, accesible desde la ermita de Nuestra Señora del Pilar (Pedrola) a Pozuelo. También aparecieron enterrados en un nivel edáfico dentro de un perfil de suelos (perfil VIII) en la vaguada existente al este de San Lorenzo del Flumen, en el término municipal de Sariñena (fig. 1). Fue abierto como parte del proceso de abancalamiento de la zona durante su puesta en regadío. Estudiado durante la VIII Reunión Nacional del Suelo, se ha publicado en CUCHÍ (1989).

Es un perfil poligénico de textura limosa y características sódicas. Genéticamente es un coluvión de ladera sobre margas del Mioceno continental. La base está hormigonada y en la superficie presenta una recarga artificial por el proceso de abancalamiento.

En la base del horizonte B_{22t}, entre 80 y 130 centímetros de profundidad, aparece una línea de piedras de moderadas dimensiones, estimada en un 5% en volumen, formada por *Dreikanter* en caliza y en cuarcita. Los primeros muestran señales de corrosión ausentes en los segundos. Esta pedregosidad proviene del desmantelamiento de la terraza más alta de la orilla derecha del Alcanadre, situada en posición elevada al este de la vaguada



Fig. 1. Perfil poligénico con nivel de ventifactos en San Lorenzo del Flumen.

donde se encuentra el perfil. Por tanto, estos cantos no están en su contexto original.

La presente nota viene motivada por el hallazgo de nuevos ventifactos en un cerro aislado de la orilla izquierda del Alcanadre (Huso 30T, E 736578; N 4640320; altura aproximada, 316 metros). En sus proximidades se encontró, también en superficie, una lasca paleolítica muy eolizada. Tiene aspecto musteriense (Lourdes Montes, comunicación personal). El depósito corresponde a la terraza más alta del Alcanadre (Tb), según el ITGE (1998), aunque en el mapa geomorfológico de la hoja de Peralta de Alcofea (ITGE, 1990) se le asocia, erróneamente, con el saso de las Fitas. Este último está 90 metros más alto y su génesis no parece relacionarse con el actual Alcanadre.

La tabla 1 presenta una propuesta de datación de las terrazas del Alcanadre que presentan BADÍA y cols. (2010) en un estudio de suelos. La nomenclatura de las terrazas se basa en la cartografía del ITGE (1998). La edad de los suelos del Pleistoceno se ha correlacionado con las terrazas del Cinca, estudiadas con técnicas de luminiscencia óptica y paleomagnetismo por SANCHO y cols. (2004b).

Tabla 1. Altitud, edad estimada y secuencia de horizontes de los suelos seleccionados según las terrazas del Alcanadre en Sariñena.

<i>Unidad estratigráfica</i>	<i>Ref. ITGE (1998)</i>	<i>Altura (metros)^a</i>	<i>Edad de la superficie</i>	<i>Edad (años)^b</i>	<i>Secuencia de horizontes (FAO, 2006)</i>
Qt1	Ta	170	Pleistoceno inferior	> 780	Ah-Bkm1-Bkm2-Ckc
Qt2	Tb	88	Pleistoceno inferior	> 780	Ah-Bw-Bkm-Ckm-2C
Qt3	Tc	62	Pleistoceno medio		Ah-Bkm1-Bkm2-Ck-C-2C
Qt4	Td	56	Pleistoceno medio	176 ± 14	Ap-Bkm-Ckm
Qt5	Te	18	Pleistoceno superior	49 ± 4	Ap-Bwk-2Ck1-2Ck2-3C
Qt6	Tf	9	Pleistoceno superior	11 ± 0,8	Ap-Bw-2Ck-3Ckg-4Cr
Qt7	Tg	2	Holoceno	< 10	Ap-AC-C1-C2-C3

^a Altura: metros por encima del cauce actual.

^b Edad: miles de años.

Como ya se ha señalado, los ventifactos se encuentran sobre la terraza más alta (Tb) del Alcanadre y están desarrollados sobre cuarcitas. Este río tiene su cabecera en el Prepirineo, en la cara sur de la sierra de Canciás. Como no hay afloramientos primarios de cuarcita en su cuenca, todo hace pensar que las cuarcitas son cantos reheredados de los conglomerados del Prepirineo, bien de la cabecera o de los depósitos de la sierra de Rufas. Por tanto, estos cantos de cuarcita son de segunda generación. Similar origen tendrían los cantos de cuarcita negra, conocidos como *liditas* por algunos autores, sobre los que no se ha observado la formación de ventifactos. Los cantos calizos tienen origen en las calizas cretácicas y eocenas del Prepirineo.

La formación de los ventifactos es posterior al depósito de la terraza sobre la que se encuentran y son aparentemente fósiles. Dado que no se han localizado sobre terrazas más recientes, indicarían una edad superior a los 200 000 años. Formados en un clima pasado, sirven como indicadores de un paleoambiente de mayor aridez. El tema de la temperatura es un poco más complejo, dado que podrían haberse generado tanto en ambientes fríos como cálidos. Se encuentran sobre una unidad fuertemente encostrada por un horizonte Bk, que suele asociarse con ambientes cálidos, pero no es posible saber su relación temporal. Tampoco se ha encontrado un número suficiente de piezas como para poder establecer una dirección preferente del viento. En todo caso, podrían servir para un estudio más detallado sobre la evolución climática del Pleistoceno del valle del Ebro.

AGRADECIMIENTOS

Se agradecen los comentarios de la doctora Lourdes Montes, del Departamento de Prehistoria de la Universidad de Zaragoza.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BADÍA, D., J. PALACIO, R. ANDRÉS, R. MARTÍ y J. A. CUCHÍ (2010). Cronosecuencia edáfica en terrazas del río Alcanadre (Los Monegros, NE-España). En *Actas del IV Congreso Ibérico de Ciencia del Suelo*. Granada. Septiembre de 2010. Copicentro. Granada.
- CUCHÍ, J. A. (1989). *Aportaciones al conocimiento de los suelos salinos de Aragón*. INIA (Serie Monográfica Tesis Doctorales). Madrid. 400 pp.
- ITGE (1990). *Mapa geomorfológico 1:50 000. Hoja 325: Peralta de Alcofea*. ITGE. Madrid.

- ITGE (1998). *Mapa geológico de España. 1: 50 000. Hoja 357: Sariñena*. ITGE. Madrid.
- MARÍN, C., M. GUTIÉRREZ, G. DESIR y P. LUCHA (2011). Contribución al conocimiento de la acción eólica en la región central de la depresión del Ebro. *Cuaternario y Geomorfología*, 25(1-2): 45-56.
- SANCHO, C., J. L. PEÑA, Á. BELMONTE, V. SOUZA, R. FORT, L. A. LONGARES y M.^a C. SOPENA (2004a). El modelado en areniscas de los Torrollones de Gabarda (Monegros, Huesca). En J. L. Peña, L. A. Longares y M. Sánchez (eds.), *Geografía física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*: 329-343. Universidad de Zaragoza / IFC. Zaragoza.
- SANCHO, C., J. L. PEÑA, C. LEWIS, E. McDONALD y E. RHODES (2004b). Registros fluviales y glaciares cuaternarios en las cuencas de los ríos Cinca y Gállego (Pirineos y depresión del Ebro). En F. Colomo, C. L. Liesa, G. Meléndez, A. Pocoví, C. Sancho y A. R. Soria (eds.), *Itinerarios geológicos por Aragón*: 181-205. SGE. Madrid.

NOTA SOBRE MINERALIZACIONES EN MONZORROBAL (AYERBE, HUESCA)

Thomas GILLOT¹
David BADÍA²
José Antonio MANSO²
José Antonio CUCHÍ²

INTRODUCCIÓN

La presencia de mineralizaciones de cobre en el pie de las sierras prepirenaicas es conocida de antiguo. Los minerales más comunes son calcosina, azurita y malaquita. Esta última es la más común y es fácilmente detectable como impregnaciones verdosas en areniscas y margas. Quizás lo más llamativo sea la presencia de cobre nativo, por lo que este conjunto de mineralizaciones y minas se ha denominado *cobres de Biel* en diversas publicaciones, por ser en las cercanías de esta localidad donde se encontraban las minas más importantes.

La existencia de estos minerales en el Alto Aragón no pasó inadvertida para MALLADA (1878), quien los señala en La Almunia del Romeral y Labata. Posteriormente, otros autores —GIMENO (1918, 1924, 1933, 1939), IGME (1974, 2009), CALVO y cols. (1988) y SUBÍAS y cols. (1989, 2003)—

¹ École des Mines de Paris. Centre de Geosciences. 35, Rue Saint-Honoré. F-77300 FONTAINEBLEAU. thomas.gillot@mines-paristech.fr

² Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Carretera de Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. badia@unizar.es, manso@unizar.es, cuchi@unizar.es

indican yacimientos de estos minerales en Sos del Rey Católico, Biel, Sierra Estronad (Santolaria de Gállego), Casas de Esper (Ardisa), Monzorrobal (Ayerbe), Lupiñén, Sagarillo (Lienas, Apiés), Labata y Morrano. También se encuentran mínimas mineralizaciones en La Sotonera (Nuevo, Gabérdola) e incluso en Sariñena. La mayor parte de las mineralizaciones se presentan en areniscas y margas de las formaciones Campodarbe y Uncastillo. Pero también aparecen asociadas a calizas de la formación Guara, como en el camino de Vadiello a Nocito.

La aparición del mineral propició la correspondiente actividad de minería y beneficio desde la Antigüedad, aunque las minas debieron de abrirse y cerrarse cíclicamente. Diversos hallazgos de hachas / lingotes de cobre se han descubierto en las Cinco Villas y se atribuye la prosperidad de la zona durante época romana a la minería de este metal. Evidentemente, las minas también se utilizaron en la Edad Media. Así, CUCHÍ (1995) presenta información sobre unas explotaciones de esta época cercanas a Huesca. A mediados del siglo XIX se retomaron los trabajos mineros en Biel. Otras explotaciones se iniciaron o reactivaron a inicios del siglo XX. En el Archivo Histórico Provincial de Huesca se conservan numerosos expedientes de la Sección de Minas. Muchos de ellos, como los incoados por el oscense Luciano Labastida Oliván, parecen simples expedientes de registro con carácter especulativo, donde no es fácil identificar las zonas denunciadas porque los nombres de las minas cambian y muchas delimitaciones registrales son poco útiles. Este interés pudo estar relacionado con un auge de demanda de cobre en vísperas de la Primera Guerra Mundial. De hecho, SUBÍAS y cols. (2003) indican que las minas de Biel cerraron tras este conflicto. La política española de autarquía, tras la Guerra Civil, reactivó parcialmente el trabajo en Biel. En esta localidad se dice que funcionaron hasta finales de la década de los cincuenta. Posteriormente, entre 1969 y 1975, se realizaron trabajos de exploración en la misma zona por la compañía Asturiana de Zinc. De forma general, no es fácil identificar las zonas minadas porque, en bastantes casos, las labores parecen haber sido mínimas, reducidas a socavones que rara vez llegan a modestas galerías. Un ejemplo de mina, en la zona de Sagarillo, se presenta en CUCHÍ (1995).

Una de las zonas minadas en el pasado se encuentra en Monzorrobal (682 metros), un característico cerro testigo, muy erosionado, que se halla



Fig. 1. Vista cenital del cerro de Monzorrobal. (Imagen del SITAR, Centro de Información Territorial de Aragón)

al este de la localidad de Ayerbe, entre Fontellas, Mondot y Loscorrales, e inmediatamente al sur de la A-132 (fig. 1). Esta zona es el objeto de la presente nota. El cerro y su entorno están muy erosionados, por la deforestación y el sobrepastoreo que se han producido en el entorno de Ayerbe, que

también afectaron a su vecino cerro de San Miguel hasta la repoblación de 1960, como muestran fotografías antiguas. Sin embargo, en la vertiente occidental de Monzorrobal destaca una zona de *badlands*, más desarrollados que en otros lugares del territorio circundante. Este terreno ha sido utilizado como muladar, vertedero y campo de tiro. Y en el pasado fue zona de minas, sin que se pueda precisar cuándo estuvieron en actividad.

Geológicamente, Monzorrobal es un cerro formado por una alternancia horizontal de lutitas y areniscas. La cartografía básica se encuentra en IGME (2009). ARENAS (1993) describió una columna estratigráfica con objetivos sedimentológicos. Como parte de una serie de trabajos geológicos en el entorno de la Galliguera, se realizaron varias visitas al mencionado cerro entre 2010 y 2012. Además, observaciones arqueológicas, cuyos resultados superan esta nota, permitieron recolectar diversas muestras de minerales. Una serie de análisis cualitativos indicaron la presencia de cobre en algunas muestras de color verdoso y, además, sugirieron la presencia de otros metales. Para caracterizar la naturaleza de estos, en abril de 2013, se tuvo la oportunidad de utilizar un equipo portátil de fluorescencia de rayos X, RXF Delta Olympus, con calibración interna, que ha permitido un análisis múltiple cuantitativo.

Se han analizado nueve muestras. Una corresponde a una caliza ferruginosa, de unos pocos centímetros de espesor, con fósiles de pequeños gasterópodos, tomada en una vaguada situada al noroeste del cerro (TRRS89, H30, X: 692913, Y: 4680451). También se analizaron dos areniscas grises de un par de bancos de este material en el fondo de las cárcavas (X: 692348, Y: 4680322). Seis muestras de mineralización de cobre se tomaron en la ladera del cerro, a unos metros de las anteriores. Evidentemente, son muestras aisladas, que presentan un claro sesgo en su recolección hacia mayores indicios de presencia de mineral.

Los resultados en porcentajes (%) sobre la masa de muestra se presentan en las tablas 1a, 1b y 1c. La tabla 1a presenta los contenidos en elementos ligeros (EL), básicamente C, H y O, organizados en carbonatos, silicatos e hidróxidos. El calcio es elemento básico en la caliza y las margas. El silicio es elemento importante en las arcillas y los granos silíceos en las areniscas. El potasio y el aluminio forman parte de las arcillas. Por último, el azufre se relaciona con el ion sulfato, presente en las margas como

venillas y nódulos de yeso secundario. No se han detectado sulfuros metálicos, pero no se ha realizado una búsqueda específica. Los resultados de la tabla 1a confirman la dominancia de calizas y arcillas.

Tabla 1a. Datos químicos de muestras de Monzorrobal por fluorescencia de rayos X: elementos comunes.

	<i>EL</i>	<i>Ca</i>	<i>Si</i>	<i>K</i>	<i>Al</i>	<i>S</i>
<i>Caliza oscura</i>	43,35 ± 0,57	20,3787 ± 0,0344	17,79 ± 0,32	4,1686 ± 0,0339	6,41 ± 0,62	ND
<i>Arenisca gris</i>	52,30 ± 0,55	20,3792 ± 0,0314	22,16 ± 0,30	2,5640 ± 0,0261	< 2,87	1,1095 ± 0,0283
<i>Arenisca gris</i>	54,57 ± 0,61	22,1132 ± 0,0334	19,24 ± 0,3	1,9474 ± 0,0246	< 2,92	0,8065 ± 0,0271
<i>Mineralización de cobre</i>	53,01 ± 0,69	17,1656 ± 0,0324	22,54 ± 0,35	2,1065 ± 0,0281	< 3,41	ND
<i>Mineralización de cobre</i>	44,71 ± 0,58	12,675 ± 0,0358	28,44 ± 0,48	3,3856 ± 0,0417	ND	ND
<i>Mineralización de cobre</i>	45,01 ± 0,53	14,488 ± 0,0315	24,87 ± 0,34	3,3710 ± 0,0313	4,3 ± 0,5	0,2030 ± 0,0226
<i>Mineralización de cobre</i>	52,24 ± 0,61	15,868 ± 0,0292	23,11 ± 0,32	3,1015 ± 0,0293	ND	0,2823 ± 0,0222
<i>Mineralización de cobre</i>	39,33 ± 0,55	10,209 ± 0,0257	29,72 ± 0,39	3,4940 ± 0,0341	4,52 ± 0,52	0,2505 ± 0,0227
<i>Mineralización de cobre</i>	46,71 ± 0,97	17,587 ± 0,0497	24,56 ± 0,52	4,1900 ± 0,0600	ND	0,6971 ± 0,0135

Evidentemente, es más interesante la presencia de mineralizaciones menos frecuentes, estudiadas en forma elemental por la fluorescencia de rayos X. Los elementos más importantes se presentan en la tabla 1b y los minoritarios en la 1c. Hay presencia de cobre en todas las muestras de color verdoso. En alguna es incluso superior a los valores de 3,86 a 5,37% que indican SUBÍAS y cols. (2003) para Ayerbe, probablemente de muestras de la misma zona. Sin embargo, la muestra de caliza y una de las areniscas grises no presentan cobre. La otra muestra de arenisca tiene un nivel muy pobre. Por el contrario, el nivel de hierro es relativamente alto, más de un 7%, en la caliza. Las restantes tienen del orden de un 1%. En Biel, SUBÍAS y cols. (2003) señalan que ambos metales, hierro y cobre, están asociados.

El manganeso es un acompañante habitual del hierro. El antimonio y el arsénico suelen aparecer asociados a sulfuros metálicos. El zinc y el cadmio lo hacen en la esfalerita (blenda), un mineral que en trabajo ya reseñado se ha detectado en Biel. Todas las muestras tienen presencia de otros metales (titanio, zirconio, vanadio, hafnio, plomo, cadmio y zinc), y también está asociada a las mineralizaciones del cobre y del hierro, lo que abre diversas cuestiones geológicas que superan esta nota. En cualquier caso, es interesante que se hayan detectado zirconio y hafnio, de geoquímica muy similar. Sin embargo, en este caso, la relación es anormalmente favorable al hafnio, y una de las muestras presenta una relativamente elevada concentración de este elemento. Por otro lado, dos muestras (una arenisca gris y una muestra de malaquita) presentan cromo: $0,0156\% \pm 0,0032$ y $0,012\% \pm 0,0031$, respectivamente. Solo la caliza presenta un poco de plomo: $0,004\% \pm 0,0004$. Los análisis no han detectado magnesio, fósforo, cloruro, cobalto, molibdeno, plata, tántalo, bismuto ni wolframio.

Tabla 1 b. Datos químicos de muestras de Monzorrobal por fluorescencia de rayos X: metales pesados más abundantes.

	<i>Cu</i>	<i>Fe</i>	<i>Ti</i>	<i>Mn</i>	<i>Sb</i>	<i>Sn</i>	<i>Zr</i>
<i>Caliza oscura</i>	ND	7,5028 $\pm 0,0337$	0,2403 $\pm 0,0157$	0,0540 $\pm 0,0052$	0,0284 $\pm 0,0015$	0,0195 $\pm 0,0013$	0,0076 $\pm 0,0003$
<i>Arenisca gris</i>	ND	1,0881 $\pm 0,0120$	0,02243 $\pm 0,0135$	0,0668 $\pm 0,0045$	0,0275 $\pm 0,0012$	0,0186 $\pm 0,0010$	0,0114 $\pm 0,0002$
<i>Arenisca gris</i>	0,0289 $\pm 0,0013$	0,9332 $\pm 0,0118$	0,2074 $\pm 0,0139$	0,0650 $\pm 0,0047$	0,0289 $\pm 0,0013$	0,0191 $\pm 0,0011$	0,0179 $\pm 0,0003$
<i>Mineralización de cobre</i>	3,8041 $\pm 0,0127$	1,0034 $\pm 0,0122$	0,1684 $\pm 0,0128$	0,052 $\pm 0,0044$	0,0264 $\pm 0,0015$	0,0175 $\pm 0,0012$	0,0077 $\pm 0,0003$
<i>Mineralización de cobre</i>	9,1701 $\pm 0,0174$	1,071 $\pm 0,0107$	0,2231 $\pm 0,012$	0,030 $\pm 0,0034$	0,0237 $\pm 0,0014$	0,0148 $\pm 0,0012$	0,0050 $\pm 0,0003$
<i>Mineralización de cobre</i>	2,5682 $\pm 0,01$	1,647 $\pm 0,0149$	0,3057 $\pm 0,015$	0,072 $\pm 0,0048$	0,0183 $\pm 0,0013$	0,0129 $\pm 0,0011$	0,0170 $\pm 0,0003$
<i>Mineralización de cobre</i>	3,1205 $\pm 0,0108$	1,713 $\pm 0,0146$	0,3243 $\pm 0,015$	0,064 $\pm 0,0045$	0,0197 $\pm 0,0013$	0,0140 $\pm 0,0011$	0,0170 $\pm 0,0003$
<i>Mineralización de cobre</i>	10,43 $\pm 0,0197$	1,413 $\pm 0,0127$	0,2590 $\pm 0,013$	0,055 $\pm 0,0042$	0,0254 $\pm 0,0016$	0,0171 $\pm 0,0013$	0,0073 $\pm 0,0003$
<i>Mineralización de cobre</i>	3,886 $\pm 0,0199$	1,710 $\pm 0,0241$	0,2990 $\pm 0,024$	0,045 $\pm 0,0069$	0,0244 $\pm 0,0023$	0,0152 $\pm 0,0019$	0,0058 $\pm 0,0004$

Tabla 1c. Datos químicos de muestras de Monzorrobal por fluorescencia de rayos X: metales pesados menos abundantes.

	<i>Hf</i>	<i>V</i>	<i>Pb</i>	<i>As</i>	<i>Zn</i>	<i>Cd</i>	<i>Ni</i>
<i>Caliza oscura</i>	ND ± 0,0096	0,0285 ± 0,0066	0,0040 ± 0,0004	ND	ND	0,0111 ± 0,0011	0,0047 ± 0,0011
<i>Arenisca gris</i>	ND	0,0215 ± 0,0057	ND	ND	ND	0,0114 ± 0,0009	0,0038 ± 0,0007
<i>Arenisca gris</i>	ND	ND	ND	ND	ND	0,0111 ± 0,0010	0,0036 ± 0,0007
<i>Mineralización de cobre</i>	0,0819 ± 0,0096	ND	ND	ND	ND	0,0090 ± 0,0011	ND
<i>Mineralización de cobre</i>	0,2262 ± 0,0162	ND	0,0009 ± 0,0003	ND	0,0295 ± 0,0025	ND	ND
<i>Mineralización de cobre</i>	0,0489 ± 0,0071	0,0328 ± 0,0063	0,0018 ± 0,0003	0,0081 ± 0,0004	0,0127 ± 0,0015	0,0075 ± 0,001	0,0073 ± 0,001
<i>Mineralización de cobre</i>	0,0635 ± 0,0079	0,0304 ± 0,006	0,0018 ± 0,0003	0,0097 ± 0,0005	ND	0,0072 ± 0,001	0,0061 ± 0,001
<i>Mineralización de cobre</i>	0,1893 ± 0,0189	0,0252 ± 0,0055	0,0015 ± 0,0004	0,0285 ± 0,0008	0,0256 ± 0,0028	0,0083 ± 0,0012	
<i>Mineralización de cobre</i>	0,2691 ± 0,0161	ND	0,0018 ± 0,0005	ND	ND	ND	ND

Por supuesto, los resultados deben ser considerados como meramente indicativos. Se trata de muestras seleccionadas con un sesgo positivo (las más aparentes) y el método de análisis trabaja sobre la superficie de los materiales. En cualquier caso, sería interesante realizar trabajos de mayor detalle.

Por último, la presencia de hierro sugiere el origen del antiguo nombre del cerro, en relación con este metal, pues aparece mencionado como *Monferrobal* en un documento del siglo XI en el que el rey Sancho Ramírez define los límites del recién conquistado Ayerbe. Hierro y cobre, posiblemente, fueron minados de antiguo y tal vez pudieran encontrarse en los alrededores restos de hornos para obtener el mineral.

AGRADECIMIENTOS

Es obligado recordar el trabajo de Inmaculada Cuchí (e. p. d.) localizando documentación medieval sobre el tema. Agradecemos la ayuda de Rosa

Torreano, sobre la documentación de la Sección de Minas de la DGA existente en el Archivo Histórico Provincial de Huesca; y la colaboración de Emilio Leo sobre la química de algunas tierras raras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARENAS, C. (1993). *Sedimentología y paleogeografía del Terciario del margen pirenaico y sector central de la cuenca del Ebro (zona aragonesa occidental)*. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza. 858 pp.
- CALVO, M., J. BESTEIRO, E. SEVILLANO y A. POCOVÍ (1988). *Minerales de Aragón*. Mira. Zaragoza. 142 pp.
- CUCHÍ, I. (1995). Introducción a la minería medieval en el Alto Aragón: las minas de cobre de Santa Eulalia (Huesca). En *Actas de las Jornadas sobre Minería y Tecnología en la Edad Media Peninsular (León)*: 217-224. Fundación Hullera Vasco-Leonesa. Madrid.
- GIMENO CONCHILLOS, Á. (1918). Impregnaciones cupríferas en Aragón. *Boletín de la Sociedad Aragonesa de Historia Natural*, xvii: 93-103.
- GIMENO CONCHILLOS, Á. (1924). Las areniscas cupríferas de Aragón. *Boletín Oficial de Minas y Metalurgia*, 89-90: 1103-1151.
- GIMENO CONCHILLOS, Á. (1933). Las areniscas cupríferas de Aragón, I. En *Catálogo descriptivo de los criaderos de minerales de España*. Madrid.
- GIMENO CONCHILLOS, Á. (1939). Las areniscas cupríferas de Aragón, II. En *Catálogo descriptivo de los criaderos de minerales de España*. Madrid.
- IGME (1974). *Mapa metalogenético de España 1: 200 000. Hoja 23: Huesca*. Ministerio de Industria. Madrid. 23 pp., 1 tabla, 1 mapa.
- IGME (2009). *Mapa geológico de España 1: 50 000. Hoja 247: Ayerbe*. Ministerio de Industria. Madrid. 39 pp., 2 mapas.
- MALLADA, L. (1878). *Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España: descripción física y geológica de la provincia de Huesca*. Imprenta de Manuel Tello. Madrid. 439 pp., 1 mapa. Reed. facs., IEA, Huesca, 1990.
- SALARRULLANA, J. (1907). *Colección de documentos para el estudio de la historia de Aragón*, t. III: *Documentos correspondientes al reinado de Sancho Ramírez*. Imprenta de M. Escar. Zaragoza. 267 pp.
- SUBÍAS, I., C. FERNÁNDEZ-NIETO y J. M. GONZÁLEZ LÓPEZ (1989). Mineralogía de las areniscas cupríferas de Biel (Zaragoza). *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 12: 315-327.
- SUBÍAS, I., I. FANLO, E. MATEO y J. GARCÍA-VEIGAS (2003). A model for the diagenetic formation of sandstone-hosted copper deposits in Tertiary sedimentary rocks, Aragón (NE Spain): S/C ratios and sulphur isotope systematics. *Geology Reviews*, 23: 55-70.

NOTA DE DATOS COMPLEMENTARIOS SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE LA LAGARTIJA ROQUERA, *PODARCIS MURALIS* (LAURENTI, 1768), EN EL ALTO ARAGÓN

Francisco J. SERRANO¹

La lagartija roquera es una especie propia de la región eurosiberiana ibérica (DIEGO-RASILLA, 2009). En el Alto Aragón la podemos encontrar en los Pirineos, donde es abundante (FALCÓN, 1982), y en el Prepirineo. En este ámbito geográfico se ubica en los niveles montanos medio y superior, por lo que escasea por debajo de los 1200 metros sobre el nivel del mar; es muy abundante entre los 1400 y los 1800 metros, aunque han podido observarse ejemplares desde los 600 hasta los 2500 metros (MARTÍNEZ-RICA, 1983).

Ocupa una notable variedad de hábitats, desde bosques caducifolios a roquedos, riberas, pastizales y construcciones humanas, aunque prefiere aquellos relativamente abiertos con acúmulos rocosos para un prolongado asolamiento (PÉREZ-MELLADO, 1997) sobre todo en las exposiciones más meridionales y de mayor insolación (ARRIBAS, 1998).

Su abundancia y el atractivo natural que la cadena pirenaica ejerce en científicos y naturalistas han motivado que se conozca con bastante precisión su actual área de distribución, la cual podemos consultar en el *Atlas y libro rojo de los anfibios y reptiles de España* (PLEGUEZUELOS, MÁRQUEZ y LIZANA, 2002). Tras esta publicación no se encuentran referencias bibliográficas que hayan ampliado el ámbito territorial de la especie en el Alto Aragón.

¹ fjserrano89@gmail.com



Hembra adulta de *Podarcis muralis*. Punta Acuta, Fanlo.

En esta nota se aportan tres citas inéditas de la presencia de lagartija roquera en zonas potenciales suyas, pero que suponen la contribución de tres nuevas cuadrículas UTM de 10 × 10 kilómetros al conocimiento de su distribución en la provincia de Huesca, concretamente en Ribagorza y Sobrarbe:

- UTM 31TBH975028, fuente de la Murria, Bisaurri, 1400 msnm, 23-06-2007.
- UTM 31TCH070130, bordas des Plans, Castanesa, 1520 msnm, 23-06-2007.
- UTM 31TBH707318, hospital de Parzán, Bielsa, 1310 msnm, 16-08-2010.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRIBAS AMO, Ó. J. (1998). Caracterización de los factores fisiográficos, geológicos y climáticos del área de distribución de las lagartijas de alta montaña de los Pirineos (*Iberolacerta* Arribas 1997; subgén. *Pyrenesaura* Arribas 1999) y otros lacértidos del piso alpino de los Pirineos. *Lucas Mallada*, 10: 67-85.

- DIEGO-RASILLA, F. J. (2009). *Podarcis muralis*. En A. Salvador González (ed.), *Enciclopedia virtual de los vertebrados españoles*, <<http://www.vertebradosibericos.org/>>. Museo Nacional de Ciencias Naturales. Madrid.
- FALCÓN MARTÍN, J. M. (1982). *Los anfibios y reptiles de Aragón*. Librería General (Colección Aragón). Zaragoza.
- MARTÍNEZ-RICA, J. P. (1983). Atlas herpetológico del Pirineo. *Munibe*, 35(1-2): 51-80. Sociedad de Ciencias Aranzadi. San Sebastián.
- PÉREZ-MELLADO, V. (1997). *Podarcis muralis*. En J. M. Pleguezuelos (ed.), *Distribución y biogeografía de los anfibios y reptiles en España y Portugal*: 243-245. Universidad de Granada. Granada / Asociación Herpetológica Española (Monografías de Herpetología, 3). Madrid.
- PLEGUEZUELOS, J. M., R. MÁRQUEZ y M. LIZANA (eds.) (2002). *Atlas y libro rojo de los anfibios y reptiles de España* (2.^a impr.). Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Madrid. 587 pp.

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 con el texto y una versión completa (con ilustraciones y tablas, si las hubiera) en pdf.
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 castellano, aragonés o 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.

Se evitarán las 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 14 (2012)

ARTÍCULOS

Endokarst y glaciario en el valle del Irués (macizo de Cotiella, Pirineo oscense): evolución paleo-ambiental durante el Cuaternario, por Ánchel BELMONTE y Carlos SANCHO

El partidor de Arascués: una obra hidráulica singular de la Huesca del siglo XVII, por José Antonio CUCHÍ y Raúl ANDRÉS

La cueva de la Artica (Belsué, Huesca), por José Antonio CUCHÍ y cols.

La temporada de aludes 2009-2010 en el Alto Aragón, por Rocío HURTADO y cols.

Análisis fenético de los tomillos (género *Thymus* L., Labiatae) del Mediterráneo occidental, por Luis Ángel INDA

Estudio de las condiciones climatológicas como factor de variación en los resultados reproductivos de la inseminación artificial ovina en Aragón, por Inmaculada PALACÍN y cols.

Estudio de procesos de mezcla de magmas con transferencia cristalina en el plutón granítico de La Maladeta (Huesca): modelización cuantitativa, por Teresa UBIDE y cols.

Documentación geométrica de los restos arqueológicos hallados en el solar del Círculo Católico (Huesca), por Paula URIBE y cols.

NOTAS

Nota sobre la presencia de espeleotemas de yeso en el sistema espeleológico de Lecherines (Boráu y Villanúa, Huesca), por José Antonio CUCHÍ y cols.

Nota sobre la presencia de *moonmilk* en una cavidad del valle de Hecho (Huesca), por José Antonio CUCHÍ y cols.

Nota sobre ventifactos en la cuenca baja del río Alcanadre (Sariñena, Huesca), por José Antonio CUCHÍ y cols.

Nota sobre mineralizaciones en Monzorrobal (Ayerbe, Huesca), por Thomas GILLOT y cols.

Nota de datos complementarios sobre la distribución de la lagartija roquera, *Podarcis muralis* (Laurenti, 1768) en el Alto Aragón, por Francisco J. SERRANO



INSTITUTO DE ESTUDIOS
ALTOARAGONESES

Diputación de Huesca