



LUCAS MALLADA

13

REVISTA DE CIENCIAS

LUCAS MALLADA

REVISTA DE CIENCIAS

13

HUESCA, 2006-2008

LUCAS MALLADA

REVISTA DE CIENCIAS

INSTITUTO DE ESTUDIOS ALTOARAGONESES

(DIPUTACIÓN DE HUESCA)

Director: César PEDROCCHI RENAULT

Consejo de redacción: Joaquín ASCASO MARTORELL, David BADÍA VILLAS,
Francisco A. COMÍN SEBASTIÁN, José CREUS NOVAU, José Antonio CUCHÍ OTERINO,
Federico FILLAT ESTAQUÉ, Javier LUCIENTES CURDI, Antonio MELIC BLAS,
Ángel VILLACAMPA MÉNDEZ

Secretaria: Pilar ALCALDE ARÁNTEGUI

Coordinación editorial: Teresa SAS BERNAD

Corrector: Isidoro GRACIA CERDÁN

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 / iea@iea.es

ISSN: 0214-8315

Depósito Legal: HU-151/2000

Imprime: Línea 2015, S. L.

ÍNDICE

ARTÍCULOS

Planteamiento de un proyecto de revegetación con plantas autóctonas como lucha contra la erosión en la comarca de Los Monegros, por Darío ABADÍAS SIERRA et álii	9
Bibliografía para el Mapa de Hábitats de Aragón y su Separateca Digital en Internet, por José Luis BENITO ALONSO	19
El calentamiento urbano: la isla de calor en Monzón (Huesca), por Víctor CASTILLO CASTÁN	47
El alud del 23 de abril de 2008 en el barranco de Las Fajas, Sallent de Gállego (Huesca), por José Antonio CUCHÍ et álii	93
Avalanchas de la cara norte de la sierra de Guara: primera aproximación, por José Antonio CUCHÍ et álii	107
Hidrogeología del puerto de Santa Orosia (Yebra de Basa, Huesca), por José Antonio CUCHÍ y José Luis VILLARROEL	121
La fábrica magnética de los lamprófidos alcalinos del plutón granitoideo de Panticosa. Aplicación al análisis de la etapa extensional del magmatismo tardivarisco pirenaico (provincia de Huesca), por Carlos GALÉ et álii . . .	135
Características fisicoquímicas y composición de la comunidad de macroinvertebrados de dos balsas de Los Monegros, por Emilia MARTÍN et álii	151
Notas sobre la presencia de algunos macroinvertebrados acuáticos en el valle de Arán (Lérida), por Javier OSCOZ et álii	179
Distribución de los ungulados silvestres en Aragón (2001-2005) determinada a partir de encuestas, por Diana OSUNA et álii	193

Análisis espacial de las áreas favorables al desencadenamiento de aludes en el circo de Piedrafita (Huesca), por María PALOMO SEGOVIA	215
Cavidades tectónicas en la cuenca del Isuela (Huesca): grimas de Santolarieta y cuevas de Ordás y de la Cabra, por José Luis VILLARROEL y José Antonio CUCHÍ	237
El karst de las gargantas de Calcón (Casbas de Huesca, Huesca), por José Luis VILLARROEL y José Antonio CUCHÍ	253

NOTA

Nueva cita de <i>Noterus clavicornis</i> (De Geer, 1774) (Coleoptera, Noteridae) en la cuenca del Ebro, por Javier OSCOZ et álíi	267
--	-----

ARTÍCULOS

PLANTEAMIENTO DE UN PROYECTO DE REVEGETACIÓN CON PLANTAS AUTÓCTONAS COMO LUCHA CONTRA LA EROSIÓN EN LA COMARCA DE LOS MONEGROS

Darío ABADÍAS SIERRA*
César PEDROCCHI RENAULT*
Marcos REGUEIRA FERNÁNDEZ*
Gonzalo MARTÍNEZ CAPETILLO*

RESUMEN.— El gran problema de la flora de Los Monegros es que ha perdido la capacidad de recolonizar los territorios que ocupaba antiguamente. El banco de semillas es extremadamente pobre y en algunos casos inexistente. Nuestro principal objetivo es devolver a la flora la capacidad colonizadora enriqueciendo el banco de semillas. Para ello, en lugar de establecer plantaciones monoespecíficas muy extensas, casi siempre condenadas al fracaso por la extrema sequía, intentamos crear pequeñas islas más fáciles de mantener (riegos, reposición de marras, etcétera) de vegetación autóctona con alta densidad de individuos y multiespecífica (doce especies). De este modo, además de enriquecer el banco de semillas, creamos un refugio para la fauna (aves fundamentalmente) encargada de exportar estas semillas y de incorporar a la parcela semillas de otros lugares. Si tenemos en cuenta que la vegetación potencial de Los Monegros es en casi todo su territorio un sabinar-espinar (*Rhamno cocciferetum-thuriferetosum*), se comprende la importancia de conocer los procesos que condicionan la proliferación y supervivencia del sabinar.

* Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC). Avda. Regimiento de Galicia, s/n. Apdo. 64. E-22700 JACA (Huesca). cpedrocchi@ipe.csic.es

ABSTRACT. — The main problem of the Los Monegros flora is that it has lost the capacity to recolonize formerly occupied territories. Seed bank is extremely poor and occasionally inexistent. Our main objective is to restore the colonizing capacity of this flora through enriching the seed bank. For this, instead of establishing large monospecific reforestations, doomed to fail because of the extreme drought, we try to create small and multispecific (twelve species) islands of indigenous vegetation with high density with an easier maintaining. Together with the seed bank enrichment, we create shelters for fauna (basically birds) in charge of exporting these seeds and incorporate to the plot seeds from other places. If we consider that Los Monegros potential vegetation is basically a genista-juniper grove (*Rhamno cocciferetum-thuriferetosum*), we understand how important the processes that determine the proliferation or survival of juniper grove are.

KEY WORDS. — Seeds bank, vegetation island, revegetation, juniper grove, Los Monegros, Aragón (Spain).

INTRODUCCIÓN

Los Monegros se sitúan en la zona media del valle del Ebro extendiéndose desde el eje de la depresión hacia el Prepirineo. Comprende las tierras delimitadas por el curso de los ríos Ebro al sur, Cinca al este, Gállego al oeste y Guatizalema al norte. Como el resto del valle del Ebro y desde el punto de vista geológico, se halla rellena de materiales sedimentarios terciarios y cuaternarios de facies tanto marina como continental-palustre, que han dado lugar a rocas poco compactadas, formadas por materiales detríticos finos (margas, areniscas, arcillas) y evaporitas (calizas, yesos, halitas en general). Esta composición de los suelos, el carácter torrencial de las lluvias, los fuertes vientos desecantes (cierzo) unidos a la falta de vegetación y su lento desarrollo hacen que los fenómenos erosivos sean muy acusados en esta comarca. Además, el hombre ha explotado fuertemente la vegetación, para su aprovechamiento agrícola, como pasto muchas veces sobrepastoreado y no raras veces quemado y, por último, como fuente de energía tanto doméstica (calefacción, cocina) como industrial (hornos de cal, leña) (PEDROCCHI, 1998).

Todo lo anteriormente dicho es causa de que en muchos lugares la vegetación monegrina esté tremendamente degradada hasta el punto de que la mayor parte de los suelos están decapitados, la vegetación puede ser escasa y dispersa y el banco de semillas queda muy empobrecido llegando incluso a no existir.

Los responsables políticos de Los Monegros, preocupados por el cada vez más acusado problema de erosión que sufre la comarca, solicitaron al Instituto Pirenaico de Ecología el diseño de un proyecto para luchar contra la erosión. Dadas las características tanto del proyecto (duración, presupuesto) como de la comarca (erosión muy acusada y gran superficie) parece que el enfoque óptimo para luchar contra la erosión es la progresiva recuperación de la cubierta vegetal que se ha planificado como posteriormente se describe.

El objetivo de este proyecto, más que intentar minimizar los procesos erosivos en grandes superficies, es crear estrategias que permitan a la flora revegetar por sí misma la zona, al tiempo que se incrementa la diversidad del banco de semillas. Para ello consideramos fundamental la actuación de la avifauna como dispersante; nos basamos en que las aves depositan semillas (con las heces) allí donde pueden posarse (VELASCO LINARES y VARGAS RÍOS, 2004). Nuestro cometido consiste en proporcionar a las aves gran cantidad de semillas para dispersar y lugares adecuados para posarse y dejar esas semillas

Es necesario diseñar estrategias que, además de conseguir los objetivos propuestos, nos permitan evaluar el grado de adaptación de las repoblaciones y su éxito como recolonizadoras para establecer pautas de actuación que nos sirvan para futuras plantaciones o actuaciones en otros biotopos.

MATERIAL Y MÉTODOS

El plan de lucha contra la erosión en la comarca de Los Monegros es un plan de ocho años de duración siendo este el cuarto año y el primero en el que decidimos cambiar el enfoque de las repoblaciones. Las actuaciones se efectúan siempre en parcelas cedidas por los ayuntamientos de Los Monegros, concretamente de los municipios de Alcubierre, Almuniente, Bujaraloz, Callén, Grañén, Lanaja, Peñalba, Poleñino, Torres de Barbués y Valfarta.

Las parcelas se distribuyen por todos Los Monegros; esto hace que cada una de ellas presente unas condiciones ambientales distintas. La litología de las parcelas varía de los suelos yesosos franco limosos del sur de la comarca

a las areniscas y arcillas de más al norte, además de los suelos salinos sobre lutitas de muchas de las parcelas. La temperatura media anual es de unos 14,5 °C, siendo julio el mes más cálido con 26 °C de temperatura media, por el contrario enero y diciembre son los más fríos con 5 °C de temperatura media. La precipitación media anual varía de los 400 mm de Sariñena a los 371 de Sástago, si bien estas lluvias son torrenciales y su variación interanual es muy grande (33-38%).

Hay tres dominios de vegetación representados en la comarca de Los Monegros: el sabinar (*Rhamno cocciferetum-thuriferetosum*), el carrascal (*Quercetum rotundifoliae*) y el pinar de pino carrasco (*Rhamno cocciferetum-cocciferetosum*) (BRAUN-BLANQUET y BOLÒS, 1957), dependiendo de dónde se encuentre una parcela entrará dentro de la zona de distribución potencial de una de las tres subasociaciones, condicionando las especies vegetales que utilizaremos en la repoblación.

La repoblación se ha planteado mediante la creación de pequeñas islas o manchas de vegetación autóctona de superficie reducida y alta densidad de especies e individuos. Esto satisfará los dos objetivos planteados: servirán de acúmulo local de semillas y como refugio/posadero para las aves, además de acelerar la sucesión ecológica de la zona. Las parcelas son cuadrados de 30 m de lado en los que se han plantado mil individuos de doce especies diferentes.

La composición florística de las islas viene determinada por la composición florística en estado de clímax del dominio al cual pertenece la parcela tratada. Se crean tres variedades de islas, o islas tipo, atendiendo a cada uno de los tres dominios de vegetación originales, guardando las proporciones y la distribución que presentan estas subasociaciones en condiciones naturales (Tablas I, II y III).

Composición de los bosquetes según el dominio florístico al que pertenecen:

Tabla I. *Rhamno cocciferetum-thuriferetosum.*

Especie	Abundancia relativa	Nº de ejemplares
<i>Juniperus thurifera</i>	24%	240
<i>Juniperus phoenicea</i>	8%	80
<i>Juniperus oxicedrus</i>	9%	90
<i>Prunus spinosa</i>	2%	20
<i>Rhamnus lycioides</i>	7%	70
<i>Rosmarinus officinalis</i>	7%	70
<i>Retama sphaerocarpa</i>	4%	40
<i>Ephedra nebrodensis</i>	6%	60
<i>Lygeum spartum</i>	10%	100
<i>Thymus vulgaris</i>	14%	140
<i>Lavandula latifolia</i>	4%	40
Otras	5%	50

Tabla II. *Rhamno cocciferetum-cocciferetosum.*

Especie	Abundancia relativa	Nº de ejemplares
<i>Pinus halepensis</i>	15%	150
<i>Quercus ilex</i>	4%	40
<i>Quercus coccifera</i>	16%	160
<i>Rosmarinus officinalis</i>	13%	130
<i>Rhamnus lycioides</i>	10%	100
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	4%	40
<i>Juniperus phoenicea</i>	10%	100
<i>Juniperus oxycedrus</i>	12%	120
<i>Thymus vulgaris</i>	8%	80
<i>Lavandula latifolia</i>	2%	20
<i>Prunus spinosa</i>	1%	10
Otras	5%	50

Tabla III. *Quercetum rotundifoliae*.

Especie	Abundancia relativa	Nº de ejemplares
<i>Quercus ilex</i>	16%	160
<i>Quercus coccifera</i>	20%	200
<i>Quercus faginea</i>	5%	50
<i>Prunus spinosa</i>	9%	90
<i>Thymus vulgaris</i>	14%	140
<i>Pinus halepensis</i>	6%	60
<i>Juniperus oxycedrus</i>	5%	50
<i>Juniperus pboenicea</i>	3%	30
<i>Dorycnium pentaphillum</i>	8%	80
<i>Rhamnus lycioides</i>	9%	90
Otras	5%	50

Para crear islas de vegetación pequeñas, variadas y lo más parecidas a un bosque o arboleda natural, además de una adecuada elección de especies, también ha de cuidarse su distribución dentro de la isla. Debemos hacerlo de manera que obtengamos una gradación desde el estrato sufruticoso al estrato arbóreo que imite el transecto desde el herbazal hasta el bosque, pasando por el sotobosque o matorral; para conseguirlo lo primero que debemos hacer es clasificar las plantas de cada isla por su porte en estrato herbáceo (sufruticoso), estrato del matorral y estrato arbóreo, para luego distribuir los estratos en el espacio de una de las siguientes maneras:

- En bandas paralelas: dividimos las parcelas en tres bandas paralelas en cada una de las cuales plantaremos uno de los tres estratos imitando un segmento de borde de bosque.
- En bandas concéntricas: estableciendo el estrato arbóreo en el centro, el arbustivo alrededor y el herbáceo-sufruticoso en la periferia, imitando un pequeño bosque.

La plantación fue llevada a cabo por la brigada forestal de Monegros Servicios Medioambientales, utilizando los métodos menos agresivos posibles para alterar lo más mínimo la vegetación existente en cada parcela. El

vegetal se plantó con azadas sin utilizar maquinaria ni desbrozar antes de comenzar. Como medidas de protección se utilizaron protectores de rejilla (para evitar la herbivoría); está previsto vallar las parcelas, instalar carteles informativos y, para asegurarnos la supervivencia de la mayor cantidad posible de pies, se prevén riegos estivales en los primeros tres años. Una vez establecidas las islas de vegetación se tomó un número determinado de plantas de cada especie que ha sido identificada con un marcado especial para poder efectuar su seguimiento a lo largo de los años.

DISCUSIÓN

Los objetivos de este proyecto son proponer y evaluar nuevos métodos de restauración de ambientes áridos, ya que como hemos dicho las plantaciones extensivas y monoespecíficas tienen poco éxito en estos ambientes. Sin embargo, el inconveniente de este tipo de investigación experimental es la larga duración que precisa la toma de datos para comprobar que las hipótesis de partida son correctas. De momento, en la primera fase únicamente conoceremos el grado de éxito en la plantación de las distintas especies y su desarrollo en los primeros años dejando para medio y largo plazo la comprobación del resto de hipótesis enunciadas.

Para comprobar el éxito de estas plantaciones como focos de exportación de semillas debemos tener en cuenta aspectos como la producción y lluvia de semillas, utilización que hacen de nuestras plantas las aves, especies dispersadoras más comunes, frecuencia con que utilizan los dispersadores las distintas especies de plantas, etcétera. Todos estos parámetros solo pueden medirse a partir de según qué edad y altura de la planta; visto así deberíamos haber establecido las islas de vegetación con plantas de mayor altura y edad para registrar estos fenómenos desde el momento de su creación (RAKAN [ZAK] ZAHAWI, 2005), ahora bien, a mayor edad de las plantas utilizadas mayor hubiera sido su mortandad y no nos hubiera permitido crear tantas islas ni en tantos ambientes diferentes.

CONCLUSIÓN

En este inicio del proyecto nos limitamos al establecimiento de las manchas de vegetación, la localización y medición de sus individuos y, por

supuesto, a asegurar la supervivencia de la plantación, de modo que dentro de unos años podamos obtener el material necesario para evaluar el grado de éxito de este tipo de plantaciones, tanto por enriquecimiento del banco de semillas como por aumento de la capacidad recolonizadora de la flora. No tenemos, por tanto, conclusiones ni resultados cuantificables siendo esta la presentación de un trabajo iniciado recientemente.

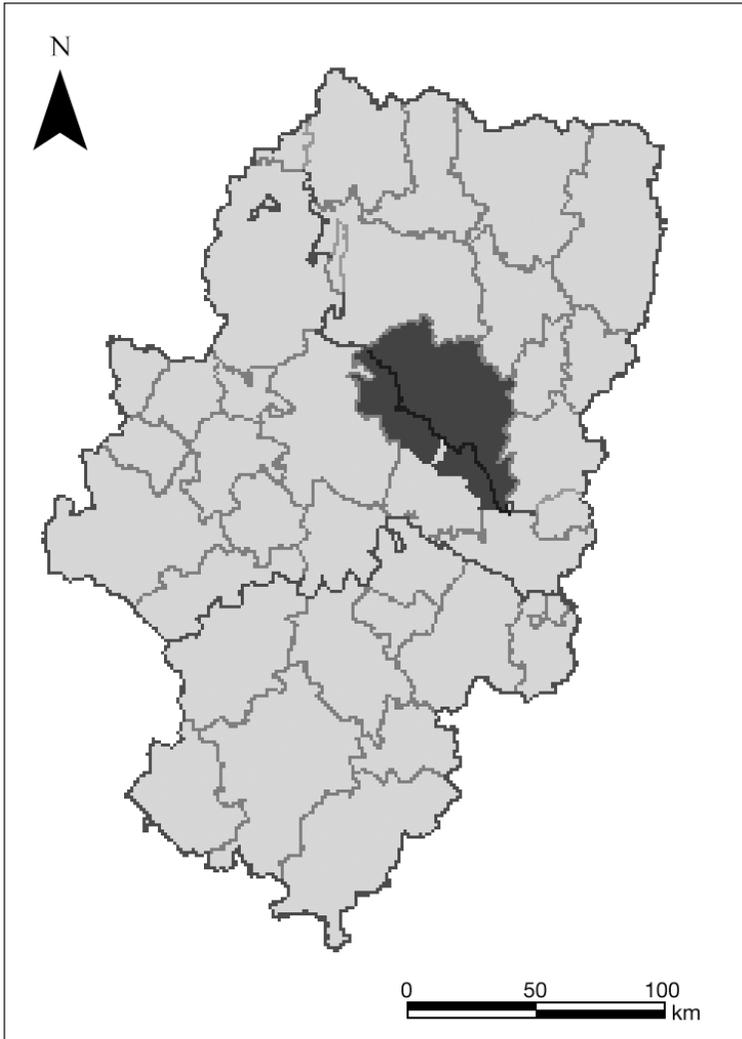


Fig. 1. Situación de Los Monegros en la Comunidad Autónoma de Aragón.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAUN-BLANQUET, J., y BOLÒS, O. de (1957). *Las comunidades vegetales del valle del Ebro*. Estación experimental del Aula Dei. Zaragoza.
- PEDROCCHI, C., et alii (1998). *Ecología de Los Monegros*. IEA – Centro de Desarrollo de Monegros. Huesca.
- RAKAN (ZAK) ZAHAWI (2005). *Poder de las islas de árboles como focos de regeneración de pastos abandonados en Honduras*. University of Illinois. Illinois.
- REY BENAYAS, J. M^a, et alii (2003). *Restauración de ecosistemas mediterráneos*. Asociación Española de Ecología Terrestre. Universidad de Alcalá.
- VELASCO LINARES, P., y VARGAS RÍOS, O. (2004). *Dinámica de la dispersión de plantas ornitocoras, reclutamiento y conectividad en fragmentos de bosque altoandino secundario*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

BIBLIOGRAFÍA PARA EL MAPA DE HÁBITATS DE ARAGÓN Y SU SEPARATECA DIGITAL EN INTERNET

José Luis BENITO ALONSO*

RESUMEN. — Recopilación bibliográfica de 378 trabajos sobre cartografía y estudios de la vegetación para el Mapa de Hábitats de Aragón (MHA). Presentamos la Separateca Digital del MHA, un portal de Internet que permite la descarga de los contenidos completos de los trabajos aquí compilados.

ABSTRACT. — We present the literature collection of 378 works on mapping and surveys of vegetation for the Habitats Map of Aragón. We introduce the Digital Bibliography of Habitats Map of Aragón, an Internet website that allows downloading the full contents of the work collected here.

KEY WORDS. — Bibliography, Internet, cartography, vegetation, habitats Corine, Natura 2000, Aragón (Spain).

INTRODUCCIÓN

El Mapa de Hábitats de Aragón (MHA) es un proyecto del Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón con el que se pretende cartografiar la vegetación de Aragón a escala 1: 25 000 (SANZ TRULLÉN & BENITO ALONSO, 2007), comenzando por las hojas que contengan sitios de la Red Natura 2000. Toma como leyenda los hábitats definidos por el Manual Corine-Biotopes (COMISIÓN EUROPEA, 1991), leyenda que ha servi-

* Jolube Consultoría Ambiental Jaca: www.jolube.net / jolube@jolube.net

do de base para la elaboración de la lista de hábitats de interés europeo (CONSEJO DE EUROPA, 1992), así como la lista de hábitats de Aragón (BENITO ALONSO, 2005-2008). El MHA es una herramienta fundamental para la catalogación y correcta gestión territorial de Aragón.

En el trabajo que aquí presentamos realizamos un repertorio bibliográfico de toda la información que puede ser útil para elaborar y comprender el MHA. Las recopilaciones bibliográficas son siempre la fase inicial de cualquier proyecto científico. La publicación de dichos listados es una herramienta útil que permite tener reunidas todas las referencias y tradicionalmente han sido publicadas en formato impreso, de forma que otros investigadores puedan saber qué es lo que se ha publicado y compilado sobre un tema en particular. Sin embargo, estas listas son estáticas y con el tiempo quedan obsoletas. Nosotros presentamos aquí una recopilación novedosa, pues además del listado que quedará impreso, se puede consultar y descargar el contenido íntegro de todos los trabajos que aquí se listan de un solo sitio de Internet en la llamada Separateca Digital del MHA (jolube.wordpress.com/mha/). Esta página web permitirá tener actualizado el listado, y evitará al usuario interesado la pérdida de tiempo que supone visitar diferentes bibliotecas buscando obras que en muchos casos están agotadas, han sido descatalogadas o simplemente están inéditas. Un antecedente reciente de esta separateca virtual es la Separateca Digital del profesor Pedro Montserrat Recoder (BENITO ALONSO & CAJAL, 2008), donde hemos recopilado todos los trabajos científicos y divulgativos del decano de los botánicos y ecólogos españoles (pedromontserrat.wordpress.com).

La confección de esta Separateca Digital ha sido posible gracias a que muchas revistas especializadas en botánica han decidido poner sus contenidos íntegros en Internet, así como a instituciones que están realizando un gran esfuerzo en informatizar sus colecciones o en recopilar artículos como la Biblioteca Digital del Real Jardín Botánico de Madrid – CSIC (bibdigital.rjb.csic.es) o la Hemeroteca Virtual de Sumarios de Revistas Científicas Españolas (DIALNET) de la Universidad de La Rioja (dialnet.unirioja.es). El resto de trabajos que no estaban disponibles en línea, ha sido necesario digitalizarlos, para lo cual hemos contado con el apoyo logístico del Instituto Pirenaico de Ecología – CSIC de Jaca (www.ipe.csic.es), en especial de María Luisa Cajal, con los fantásticos fondos de su biblioteca y separateca

botánica que nos ha facilitado Cristina Pérez de Larraya, así como con la colaboración de diversos autores que nos han enviado sus trabajos digitalizados, a los que agradecemos su amabilidad.

Cada trabajo escaneado ha generado un fichero en formato PDF que hemos sometido a un reconocimiento de texto por el OCR de Adobe Acrobat, lo que permite hacer búsquedas en los documentos así como copiar textos e ilustraciones. Después, en cada archivo se han incluido metaetiquetas de título, autor y procedencia del artículo, que permiten localizarlo fácilmente a la vez que son reconocidas por los buscadores de Internet.

Una vez procesados los archivos han sido almacenados de forma que ocupen el menor espacio posible, pero conservando una buena legibilidad. Finalmente, cada artículo ha sido colgado en Internet y se han establecido los enlaces pertinentes para su descarga.

La compilación suma un total de 378 referencias que se ha centrado en aquellos trabajos relacionados con la cartografía de la vegetación y el paisaje vegetal (46), cualquiera que sea la leyenda utilizada, así como una segunda parte más extensa (332) dedicada a los trabajos de estudio de las comunidades vegetales más algunos florísticos (se excluyen catálogos florísticos), referidos a Aragón y territorios circundantes o que sin citar expresamente el territorio aragonés, pueden ser relevantes para este ámbito.

CARTOGRAFÍA DE LA VEGETACIÓN

- BARRÓN, G.; IBARRA, P.; LONGARES, L. A.; PÉREZ, F., & SESÉ, P. (2002). Cartografía y caracterización del paisaje vegetal de la Ibérica turolense en el interfluvio Pancrudo-Martín. En LONGARES, L. A., & PEÑA, J. L. (eds.). *Aportaciones geográficas en memoria del profesor L. Miguel Yetano Ruiz*: 529-539. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza. Zaragoza.
- BAULIES, X. (1990). Aportaciones de la teledetección a la cartografía de la vegetación alpina en el Pirineo catalán. *Monogr. Inst. Piren. Ecología (Jaca)*, 5: 599-607.
- BENITO ALONSO, J. L. (2006). *Vegetación del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (Sobrarbe, Pirineo central aragonés)*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Gobierno de Aragón. Zaragoza. 419 pp. + mapa vegetación 1: 40 000. Serie Investigación, nº 50.
- BENITO ALONSO, J. L. (2005-2008). *Cartografía de los hábitats CORINE de Aragón a escala 1: 25 000. II. Lista de hábitats de Aragón (versión 4.04)*. Departamento de Medio Ambiente. Gobierno de Aragón. 86 pp.

- BENITO ALONSO, J. L., & VILLAR, L. (1995). Cartografía de la vegetación actual a escala 1: 50 000 de las hojas 118-Zuriza, 144-Ansó, 176-Jaca, 145-Sallent de Gállego y 177-Biescas. En GÓMEZ SAL, A., et alii (eds.). *Estudio del medio físico y de sus riesgos naturales en un sector del Pirineo occidental*. Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC e ITGM. Jaca y Zaragoza.
- BENITO ALONSO, J. L.; VILLAR, L., & ERREA, M. P. (1996). *Cartografía vegetal y sistemas de información geográfica: el ejemplo del Pirineo aragonés*. Póster presentado en el IV Coloquio Internacional de Botánica Pirenaico-Cantábrica. Universidad de Oviedo.
- BENITO ALONSO, J. L., & VILLAR, L. (1995-1996). *Cartografía e inventariación de las comunidades vegetales incluidas en el Anexo II de la directiva Hábitats 92/43/CEE, escala 1: 50 000. Hojas 118-Zuriza, 144-Ansó, 145-Sallent de Gállego, 146-Bujaruelo, 147-Liena, 175-Sigüés, 176-Jaca, 177-Sabiñánigo, 178-Broto, 179-Bielsa, 208-Uncastillo, 209-Agüero, 212-Campo, 230-Graus, 287-Barbastro, 288-Fonz*. Convenio ICONA-CSIC. Jaca.
- BENITO ALONSO, J. L., & VILLAR, L. (1996). *Mapas de vegetación actual, potencial, hábitats y forestal a escala 1: 200 000 de los valles del Cinca, Aragón y Noguera Ribagorzana*. En "Evaluación ambiental de la línea eléctrica de alta tensión entre España y Francia a través del Pirineo central". Convenio REDESA-CSIC. Jaca.
- CARRERAS, J.; CARRILLO, E.; FONT, X.; SORIANO, I., & VIGO, J. (1997). *Mapa de vegetació de Catalunya 1: 50 000. La Seu d'Urgell 215 (34-10)*. Institut d'Estudis Catalans. Institut Cartogràfic de Catalunya y Direcció General del Medi Natural de la Generalitat de Catalunya. Barcelona.
- CARRERAS, J.; CARRILLO, E.; MASALLES, R. M.; NINOT, J. M., & VIGO, J. (1990). À propos de la carte de végétation des Pyrénées, IV: Vallées de Barravés et de Castanesa (Haute Ribagorça). Quelques réflexions générales sur la cartographie de la végétation. *Monogr. Inst. Piren. Ecología (Jaca)*, 5: 609-615.
- CARRERAS, J.; CARRILLO, E.; MASALLES, R. M.; NINOT, J. M., & VIGO, J. (1993). El poblament vegetal de les valls de Barravés i de Castanesa. II-Mapa de vegetació. *Acta Bot. Barcinon.*, 43: 1-32 + mapa de vegetación 1: 50 000.
- CARRERAS, J.; CARRILLO, E.; MASALLES, R. M.; NINOT, J. M., & VIGO, J. (2001). *Mapa de vegetació de Catalunya 1: 50 000. Benasc 180 (32-9)*. Institut d'Estudis Catalans. Institut Cartogràfic de Catalunya y Direcció General de Patrimoni Natural i del Medi Físic de la Generalitat de Catalunya. Barcelona.
- CARRILLO, E.; FERRÉ, A.; GRANIER, G., & NINOT, J. M. (2003). Evaluación del interés natural del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici a partir de la cartografía de hábitats CORINE. *Acta Bot. Barcinon.*, 49: 357-374.
- ESCUADERO, O., & FRANCHÉS, M. J. (2004). *Memoria de síntesis del mapa forestal de Aragón*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Zaragoza. Serie Difusión, nº 11. 119 pp.

- ESCUER IBARZ, J. L. (1998). *L'aiguabarreig dels rius Cinca i Segre. Cartografia del paisatge vegetal*. Institut d'Estudis del Baix Cinca – IEA. Fraga (Huesca). La Sitja, nº 17. 143 pp.
- FERRER, C.; BARRANTE, O.; BROCA, A., & MAESTRO, M. (2008). El proyecto “Tipificación, cartografía y evaluación de los pastos españoles”. Algunos resultados obtenidos sobre los pastos de los altos valles del Pirineo aragonés. En FILLAT, F.; GARCÍA GONZÁLEZ, R.; GÓMEZ GARCÍA, D., & REINÉ, R. (eds.). *Pastos del Pirineo: 255-272*. CSIC. Diputación Provincial de Huesca. Madrid.
- GARCÍA GONZÁLEZ, R.; GÓMEZ, D., & REMÓN, J. L. (1991). Application of vegetation maps to the study of grazing utilization: a case in the western Pyrenees. (Incluye mapa de vegetación a escala 1: 10 000). *Phytocoenosis (NS)*, 3: 251-256.
- GAUSSEN, H. (1972). Les cartes de végétation dans le Bassin de l'Èbre. *Pirineos*, 105: 69-83.
- LOIDI, J. (1991). Vegetation series: its use for small scale geobotanical mapping. *Phytocoenosis (NS)*, 3: 119-122.
- LORDA, M., & REMÓN, J. L. (2003). Cartografía de la vegetación en la conservación de los hábitats. El ejemplo del monte Lágora (Navarra, Pirineo occidental). *Acta Bot. Barcinon.*, 49: 341-356.
- MARULL, J.; PINO, J.; CARRERAS, J.; FERRÉ, A.; CORDOBILLA, M. J.; LLINÀS, J.; RODÀ, F.; CARRILLO, E., & NINOT, J. M. (2005). Primera proposta d'índex del valor del patrimoni natural de Catalunya (IVPN), una eina cartogràfica per a l'avaluació ambiental estratègica. *Butll. Inst. Cat. Hist. Nat.*, 72: 115-138.
- MONTSERRAT, P. (1964-1966). Vegetación de la cuenca del Ebro. *P. Cent. pir. Biol. exp.*, 1(5): 1-22 + mapa en blanco y negro a 1: 1 000 000. Jaca.
- MONTSERRAT, P. (1971). *La Jacetania y su vida vegetal*. Caja de Ahorros de Zaragoza, Aragón y Rioja. Zaragoza. 109 pp. + 40 fotos + mapa en color a 1: 200 000.
- MONTSERRAT, P. (1971). El ambiente vegetal jacetano. *Pirineos*, 101: 5-22 + mapa en color a 1: 200 000.
- MONTSERRAT, P. (1972). *Mapa de vegetación en blanco y negro del Pirineo central (Navarra – sierra del Cadí – río Ebro) a escala 1: 400 000*. En G. DURRIEU & álli, *Guide de la C Session Ext. de la Soc. Bot. Fr., en Andorra, Seo de Urgel, Fraga et Jaca*. París.
- MONTSERRAT, P. (1992). Cartografía de pastos. Europa. *Grassland Class & Mapping*: 147-164. París.
- MONTSERRAT, P., & VILLAR, L. (2006). Aspectos teóricos y prácticos de los mapas forestales. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. Forest.* Fuera de serie: 71-78.
- OLANO, J. M.; FERRER, V.; PERALTA, F. J.; REMÓN, J. L.; BERASTEGUI, A., & GARCÍA, S. (2003). *Cartografía de los hábitats en los Lugares de Importancia Comunitaria (LICs) de Navarra (Red Natura 2000)*. Actas del VII Congreso Nacional de la Asociación Española de Ecología Terrestre en CD. Barcelona. 15 pp.

- QUEROL, J. V. (1992). 8. Mapa de vegetación. En BURILLO, F., & IBÁÑEZ, J. (dir.). Parque Cultural de Molinos [Material cartográfico]. *Seminario de Arqueología y Etnología Turolese, Instituto Aragonés de Arqueología*. Teruel.
- REMÓN, J. L., & MONTSERRAT, P. (1988). *Mapa de vegetación y pastos del Pirineo aragonés (Cartografía de ambientes supraforestales del Pirineo aragonés) a escala 1:50 000*. Diputación General de Aragón e Instituto Pirenaico de Ecología. Zaragoza y Jaca. Inédito.
- RIVAS MARTÍNEZ, S.; ASENSI, A.; COSTA, A.; FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, F.; LLORENS, L.; MASALLÉS, R. M.; MOLERO, R.; MESA, J.; PENAS, Á., & PÉREZ DE PAZ, P. L. (1993). El proyecto de cartografía e inventariación de los tipos de hábitats de la Directiva 92/43/CEE en España. *Colloq. Phytosoc.*, 22: 611-661.
- RIVAS MARTÍNEZ, S., et alii (1987). *Memoria del mapa de series de vegetación de España. Escala 1:400 000*. Serie Técnica. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ICONA. Madrid.
- ROMO, À. M. (1986). Estado actual de la cartografía de la vegetación en los Prepirineos centrales catalanes. *Colloq. Int. Bot. Pyrénéene (Toulouse)*, 1: 315-323.
- RUIZ DE LA TORRE, J., et alii (1990-1992). *Mapa forestal de España. Escala 1:200 000. Hojas 7-2. Pamplona; 7-4. Zaragoza; 8-2 Viella y 8-3 Huesca*. ICONA. Madrid.
- SAINZ OLLERO, H.; COSTA, M., & MORLA, C. (1975). *Mapa de vegetación del Sobrarbe a escala 1:150 000*. Universidad Complutense de Madrid. Inédito.
- SAINZ OLLERO, H.; COSTA, M.; MORLA, C., & CERESUELA, J. L. (1981). *Mapa de vegetación del macizo de Monte Perdido. Escala 1:80 000*. Universidad Complutense de Madrid. Inédito.
- SALVAT, A.; BLASI, B.; CAMPOS, M., & MOLES, A. (2003). Els boscos de ribera d'Andorra: tipificació, cartografia i estat de conservació. *Acta Bot. Barcinon.*, 49: 375-392.
- SANZ TRULLÉN, V., & BENITO ALONSO, J. L. (2007). Mapa de Hábitats de Aragón: la cartografía de hábitats CORINE como herramienta para la gestión de la biodiversidad y de los espacios naturales protegidos. *Boletín EUROPARC-España*, 23: 36-41.
- VIGO, J. (1998). Some reflections on geobotany and vegetation mapping. *Acta Bot. Barcinon. (Homenatge a Oriol de Bolòs)*, 45: 535-556.
- VIGO, J., & CARRERAS, J. (2002). Los pastos en Cataluña: tipología Corine y Directiva Hábitats. En CHOCARRO, C.; SANTIVRI, F.; FANLO, R.; BOVET, I., & LLOVERAS, J. (eds.). *Producción de pastos, forrajes y céspedes. Actas de la XLII Reunión Científica de la SEEP*: 43-52. Edicions de la Universitat de Lleida. Lérida.
- VIGO, J., & CARRERAS, J. (2003). Los hábitats del proyecto CORINE en el ámbito territorial catalán: delimitación y cartografía. *Acta Bot. Barcinon.*, 49: 401-420.
- VIGO, J.; CARRERAS, J., & FERRÉ, A. (eds.) (2005-2007). *Manual dels hàbitats de Catalunya: catàleg dels hàbitats naturals reconeguts en el territori català d'acord amb els criteris establerts pel CORINE biotopes manual de la Unió Europea*. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya. Barcelona.

- VILLAR, L.; ASEGINOLAZA, C.; GÓMEZ, D.; MONTSERRAT MARTÍ, G.; ROMO, À. M., & SESÉ, J. A. (2000). *Los hayedos prepirenaicos aragoneses y su conservación*. Investigación. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Zaragoza. 140 pp.
- VILLAR, L., & BENITO ALONSO, J. L. (2001). *Mapa de vegetación del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, escala 1:25 000*. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- VILLAR, L., & BENITO ALONSO, J. L. (2004-2005). *Cartographie des habitats naturels (hors zones humides) en zone centrale du Parc National des Pyrénées (vallées d'Aspe et Ossau), éch. 1:10 000*. Parc National des Pyrénées – Instituto Pirenaico de Ecología. CSIC. Jaca-Tarbes. 152 pp.
- VILLAR, L., & BENITO ALONSO, J. L. (2004[2006]). Los bosques del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (Pirineo central español): cartografía, valor ecológico y conservación. *Naturalia Maroccana*, 2(1-2): 155-162.

FLORÍSTICA Y VEGETACIÓN

- AGUILELLA, A. (1981). *La vegetación potencial y los pisos bioclimáticos en la cuenca del río Guadalope*. Tesina de licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Valencia.
- AGUILELLA, A. (1985). *Flora y vegetación de la sierra de El Toro y Las Navas de Torrijas (estribaciones sudorientales del Macizo de Javalambre)*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Valencia.
- AGUILELLA, A. (1992). Estudio del *Sinjuniperetum hemisphaerico-thuriferae* en el sector maestracense. *Actas Simp. Intern. Bot. P. Font Quer 1988, vol. II (Fanerogamia)*: 219-225.
- AGUILELLA, A., & MATEO, G. (1985). Relaciones entre el clima y la vegetación en la cuenca del río Guadalope (Aragón, España). En PABLO, A. B. de (ed.). *Avances sobre la investigación en Bioclimatología*: 389-396. Salamanca.
- AGUILELLA, A., & RIERA, J. (1997). Estudios sobre la vegetación y flora halófilas de las saladas de “El Plano” (Alcañiz-Calanda, Aragón, España). En ANENTO, J. L.; SELFA, J., & JIMÉNEZ, R. (eds.). *Las Saladas de Alcañiz*: 43-100. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Zaragoza. Serie Investigación, nº 6.
- ALDEZÁBAL, A. (1997). *Análisis de la interacción vegetación-grandes herbívoros en las comunidades supraforestales del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (Pirineo central, Aragón)*. Tesis doctoral. Departamento de Biología Vegetal. Universidad del País Vasco. Lejona (Vizcaya).
- ALDEZÁBAL, A. (2001). *El sistema de pastoreo del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (Pirineo central, Aragón). Interacción entre la vegetación supraforestal y los grandes herbívoros*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Zaragoza. Serie Investigación, nº 28. 317 pp.

- ALONSO, M. Á., & TORRE, A. de la (2002). Las comunidades fruticasas de *Suaeda Forsskal* ex J. F. Gmelin en la Península Ibérica e islas Baleares. *Lazaroa*, 23: 95-105.
- ÁLVAREZ DE LA CAMPA, J. M. (2005). *Vegetació del Massís del Port*. IEI. Diputació Provincial de Lérida. Lérida. 458 pp.
- ANENTO, J. L. (1991). Endorreísmo en el Bajo Aragón: apuntes sobre la singularidad natural de los focos de la laguna de Chiprana y de las saladas de Alcañiz. *Teruel*, 82(1): 161-182.
- ARBELLA, M. (1984). Aspectos ecológicos de las comunidades de *Festuca gautieri* (*F. scoparia*) en la sierra de Custodia (macizo del Monte Perdido). *Acta Biol. Montana*, 4: 239-247.
- ARBELLA, M. (1988). *Formaciones pascícolas supraforestales en la reserva de la Biosfera de Ordesa-Viñamala*. Facultad de Biología. Universidad Complutense. Madrid.
- ARBELLA, M., & GÓMEZ, D. (2000). Las comunidades de pedrizas innivadas en el Pirineo occidental. *Actas del Congreso de Botánica en homenaje a Francisco Loscos*: 755-762. IET. Diputación Provincial de Teruel. Teruel.
- ARBELLA, M., & VILLAR, L. (1984). Quelques données floristiques sur deux montagnes des Pyrénées centrales en rapport avec leur dynamique périglaciaire. *Doc. Écol. Pyr.*, 3-4: 147-154.
- ASCASO, J. (1990). *Estudio fitocenológico y valoración de los recursos pastorales de las zonas forestales y arbustivas del Prepirineo aragonés*. V Premio "Jordán de Asso" 1988. IFC. Zaragoza. 152 pp.
- ASCASO, J. (1992). *Estudio fitocenológico y valoración de los pastos del puerto del valle de Benasque (Pirineo oscense)*. Departamento de Agricultura y Economía Agraria. Facultad de Veterinaria. Universidad de Zaragoza. 421 pp.
- ASCASO, J. (1996). Excerpta fitosociológica de asociaciones y subasociaciones reconocidas en la provincia de Huesca (España). *Lucas Mallada*, 7: 21-44.
- BADÍA, D.; SANZ, J. A., & ALCANIZ, J. M. (1992). Contribución al estudio de la vegetación halomorfa del Ebro medio. *Actas Simp. Intern. Bot. P. Font Quer 1988, vol. II (Fanerogamia)*: 227-232.
- BALLESTEROS, E.; BAULIES, X.; CANALÍS, V., & SEBASTIÀ, T. (1983). Landes, torberes i mulleres de l'Alta Ribagorça. *Collect. Bot. (Barcelona)*, 14: 55-84.
- BALLESTEROS, E., & CANALÍS, V. (1991). La vegetació culminal dels massissos de Besiberis i de Mulleres (Pirineus Centrals catalans). *Butll. Inst. Catalana Hist. Nat.*, 59 (Sec. Bot. 8): 95-106.
- BALLESTEROS, E., & GACIA, E. (1991). Una nova associació de plantes aquàtiques als Pirineus: el *Ranunculo eradicatorum* – *Potamogeton alpinus*. *Butll. Inst. Catalana Hist. Nat.*, 59 (Sec. Bot., 8): 89-93.
- BARRERA MARTÍNEZ, I. (1985). *Contribución al estudio de la flora y de la vegetación de la sierra de Albarracín*. Facultad de Ciencias Biológicas. Departamento de Botánica. Universidad Complutense. Madrid. 499 pp.

- BARRERA, I., & CIRUJANO, S. (1986). *Artemisio-Puccinellietum pungentis*, una nueva asociación de la clase *Juncetea maritimi*. *Trab. Dep. Botánica (Univ. Complutense)*, 13: 111-113.
- BELMONTE, M. D., & LAORGA, S. (1987). Estudio de la flora y vegetación de los ecosistemas halófilos de la Rioja logroñesa (Logroño, España). *Zubía*, 5: 63-125.
- BELMONTE, M. D., & LAORGA, S. (2000). Comunidades halófilas del sector corológico Bardenas-Monegros en la Rioja logroñesa (Logroño, España). *Actas del Congreso de Botánica en homenaje a Francisco Loscos*: 675-686. IET. Teruel.
- BENITO ALONSO, J. L. (1999). Interpretación de los nombres de sintaxones basados en nombres inválidos de plantas: el caso de *Saxifraga securae*. *Lazaroa*, 20: 109-110.
- BENITO ALONSO, J. L. (1999). Sobre *Primula hirsuta* All. y la nomenclatura de dos asociaciones pirenaicas del *Androsacion vandellii*. *Acta Bot. Malacitana*, 24: 229-233.
- BENITO ALONSO, J. L. (2000). El *Androsacion vandellii* en el Pirineo: *Androsacetum pyrenai-cae*, nueva asociación de los extraplomos silíceos. *Acta Bot. Malacitana*, 25: 206-219.
- BENITO ALONSO, J. L. (2003). Las comunidades con *Carex bicolor* All. del Pirineo. *Acta Bot. Barcinon.*, 49: 229-243.
- BENITO ALONSO, J. L. (2003). Propuestas para la regeneración de la vegetación del humedal de los Ojos de Monreal del Campo (Teruel). *Flora Montiberica*, 23: 83-86.
- BENITO ALONSO, J. L. (2004). Notas fitosociológicas del Pirineo central: comunidades rupícolas y glareícolas. *Lazaroa* 25: 251-266.
- BENITO ALONSO, J. L. (2006). Influencia de la inversión térmica en la flora y vegetación del valle de Ordesa (Pirineo central). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 141(2): 63-68.
- BENITO ALONSO, J. L. (2006). *Vegetación del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (Sobrarbe, Pirineo central aragonés)*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Gobierno de Aragón. Zaragoza. Serie Investigación, nº 50. 419 pp. + mapa vegetación 1: 40 000.
- BENITO ALONSO, J. L. (III-2008). Dos plantas raras en el humedal de Villa Juanita (Castiello de Jaca, Pirineo aragonés). *Flora Montiberica*, 38: 81-89.
- BENITO ALONSO, J. L. (IX-2008). Nótula fitosociológica sobre *Borderea chouardii* (Gausson) Heslot (*Dioscoreaceae*), especie críticamente amenazada. *Flora Montiberica*, 40: 25-29.
- BENITO ALONSO, J. L.; GACIA, E.; BALLESTEROS, E.; CHAPPUIS, E., & CARRILLO, E. (VI-2008). Recatalogación de *Potamogeton praelongus* Wulfen (*Potamogetonaceae*), según las categorías UICN-2001. *Flora Montiberica*, 39: 37-46.
- BIELSA, J. L.; CALLÉN, Ó.; CAZORLA, J.; LALAGUNA, J., & BENITO ALONSO, J. L. (2008). *Buceando en los ibones. 2. Anayet, Catieras y Piedrafita. Guía 2006/2007 de la campaña de estudio y limpieza de ibones del Alto Gállego*. Comarca Alto Gállego y Club Inmersión y Montaña de Jaca. Sabiñánigo (Huesca). 32 pp.

- BIURRUN, I. (1999). Flora y vegetación de los ríos y humedales de Navarra. *Guineana*, 5: 1-338.
- BLANCHÉ, C., & MOLERO BRIONES, J. (1986). Las cubetas arceicas al sur de Bujaraloz (valle del Ebro). Contribución a su estudio fitocenológico. *Lazaroa*, 9: 277-299.
- BLÁZQUEZ, S.; CARCELLER, F., & LASCURAÍN, J. (1989). Ecología forestal en el parque natural del Moncayo. Una nueva propuesta metodológica. *Turiaso*, 9(2): 681-721.
- BOLÒS, A. de (1962). Notas sobre la vegetación de los alrededores de Jaca. *Actas III Congreso Estud. Pirenaicos*, vol. 2: 29-41.
- BOLÒS, O. de (1954). De vegetatione notulae, I. *Collect. Bot. (Barcelona)*, 4(1): 253-286.
- BOLÒS, O. de (1956). De vegetatione notulae, II. *Collect. Bot. (Barcelona)*, 5(2): 195-268.
- BOLÒS, O. de (1960). La transición entre la depresión del Ebro y los Pirineo en el aspecto geobotánico. *Anales Inst. Bot. A. J. Cavanilles*, 18: 199-254.
- BOLÒS, O. de (1973). La vegetación de la Serreta Negra de Fraga. *Mem. Real Acad. Ci. Artes Barcelona*, ser. 3, 42(6): 289-313.
- BOLÒS, O. de (1974). Notas sobre vegetación glareícola. *Miscellanea Alcobé*, 5: 77-86.
- BOLÒS, O. de (1989). Acerca de la vegetación del Moncayo y de las tierras vecinas. *Turiaso*, 9(1): 299-330.
- BOLÒS, O. de (2000). La vegetación de las llanuras secas del Ebro Medio. *Actas del Congreso de Botánica en homenaje a Francisco Loscos*: 529-541. IET. Diputación Provincial de Teruel. Teruel.
- BOLÒS, O. de; MONTSERRAT MARTÍ, J. M., & ROMO, À. M. (1988). Comunitats vegetals higronitrofiles de la Catalunya pirinenca i de les terres properes. *Acta Bot. Barcinon.*, 37: 33-44.
- BOLÒS, O. de, & MONTSERRAT, P. (1984). Datos sobre algunas comunidades vegetales, principalmente de los Pirineos de Aragón y de Navarra. *Lazaroa*, 5: 89-96.
- BOLÒS, O. de, & ROMO, À. M. (1989). L'Aliança *Amelanchiero ovalis-Buxion*. *Folia Bot. Miscelanea*, 6: 109-114.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1948). La végétation alpine des Pyrénées orientales. *Mon. Est. Pir. & Inst. Esp. Edafol. Ecol. Fisiol. Veg. (Commun. Stat. Int. Géobot. Médit. Alpine 98)*, 9: 7-306. Barcelona.
- BRAUN-BLANQUET, J., & BOLÒS, O. de (1950). Aperçu des Groupements Végétaux des Montagnes tarragonaises. *Collect. Bot. (Barcelona)*, 2(3): 303-342.
- BRAUN-BLANQUET, J., & BOLÒS, O. de (1954). Datos sobre las comunidades terofíticas de las llanuras del Ebro medio. *Collect. Bot. (Barcelona)*, 4(2): 235-242.
- BRAUN-BLANQUET, J., & BOLÒS, O. de (1987). *Las comunidades vegetales de la depresión del Ebro y su dinamismo*. Ayuntamiento de Zaragoza. 278 pp.

- BRAUN-BLANQUET, J., & MONTSERRAT, P. (1966). *Thymelaeo-Aphyllanthesum* Br.-Bl. et P. Montserrat ass. nova. En BRAUN-BLANQUET, J. Vegetationsskizzen aus dem Baskenland mit Ausblicken auf das Weitere Ibero-Atlantikum, I. Teil: 124-125. *Vegetatio*, 13: 117-147.
- BRESSET, V. (1990). Première note sur l'étude synécologique des hêtraies-sapinières jaccetanes. *Monogr. Inst. Piren. Ecología (Jaca)*, 5: 497-520.
- BURGAS, A. R.; FUERTES, E., & MENDIOLA, M. A. (1985). Esquema de la gradación altitudinal de la vegetación del macizo del Moncayo (Zaragoza). *Studia Bot.*, 4: 35-44.
- CADIÑANOS, J. A.; MEAZA, G.; OLLERO, A.; ORMAETXEA, O.; GONZÁLEZ, M. J., & DÍAZ BEA, E. (2002). Colonización vegetal en medios dinámicos de la cabecera del río Ésera (Pirineo aragonés, España). *Temas en Biogeografía*: 262-273.
- CÁMARA NIÑO, F. (1946). Observaciones geobotánicas en la provincia de Zaragoza. *Rev. Acad. Ciencias Zaragoza*, 19 (ser. 2ª, t. I): 71-94.
- CARRERAS, J.; CARRILLO, A.; FONT, X.; NINOT, J. M., & VIGO, J. (1983). Els prats de l'aliança *Xerobromion* als Pirineus catalans. *Collect. Bot. (Barcelona)*, 14: 151-209.
- CARRERAS, J.; CARRILLO, E.; MASALLES, R. M.; NINOT, J. M., & VIGO, J. (1993). El poblament vegetal de les valls de Barravés i de Castanesa. I-Flora i vegetació. *Acta Bot. Barcinon.*, 42: 1-392.
- CARRERAS, J.; CARRILLO, E.; NINOT, J. M., & VIGO, J. (1997). Contribution to the phytocoenological knowledge of Pyrenean forests. *Fragm. Flor. Geobot.*, 42(1): 95-129.
- CARRERAS, J.; CARRILLO, E., & VIGO, J. (1988). L'Aliança *Polygonion avicularis* Br.-Bl. ex Dich. 1933 als Pirineus Catalans. *Acta Bot. Barcinon.*, 37: 69-77.
- CARRERAS, J., & FONT, X. (1990). Els pradells terofítics de l'aliança *Thero-Airion* als Pirineus Centrals i Orientals. *Folia Bot. Miscelanea*, 7: 129-139.
- CARRERAS, J.; NINOT, J. M.; SORIANO, I., & VIGO, J. (1988). L'aliança *Agropyro-Rumicion* a la meitat oriental dels Pirineus ibèrics. *Acta Bot. Barcinon.*, 37: 59-68.
- CARRERAS, J., & VIGO, J. (1987). Las comunidades del orden *Molinietalia caeruleae* en los Pirineos catalanes. *Lazaroa*, 7: 497-513.
- CARRERAS, J., & VIGO, J. (1988). Sobre los pastos de *Festuca paniculata* subsp. *spadicea*. *Lazaroa*, 9: 307-314.
- CARRETERO, J. L. (1994). Las comunidades vegetales de *Conyza bonariensis*, *Conyza canadensis*, *Conyza sumatrensis* y *Aster squamatus* en España. *Ecología*, 8: 193-202.
- CARRETERO, J. L. (1995). Summer agrestal vegetation of dryland crops in Spain. *Candollea*, 50: 195-216.
- CARRILLO, E., & FONT, X. (1988). L'Aliança *Alyssio-Sedion albi* Ober. et Th. Müller in Th. Müller 1961 als Pirineus Centrals i orientals. *Monografías del Instituto Pirenaico de Ecología*, 4 ("Homenaje a Pedro Montserrat"): 469-481.

- CARRILLO, E., & NINOT, J. M. (1989). El *Saxifraga-Minuartietum sedoidis*, una nova associació del *Festucion airoidis*. *Folia Bot. Miscelanea*, 6: 103-107.
- CARRILLO, E., & NINOT, J. M. (1990). Noves comunitats pratenses dels Pirineus Centrals. *Folia Bot. Miscelanea*, 7: 99-114.
- CARRILLO, E.; NINOT, J. M., & VIGO, J. (1983). La vegetación de la clase *Epilobietea angustifolii*. *Lazaroa*, 5: 97-109.
- CASANOVAS, L. (1992). Contribució a l'estudi de les torberes dels Pirineus. En *Simposi Internacional de Botànica Pius Font i Quer, vol. II (Fanerogamia)*: 241-250. Llérida.
- CASANOVAS, L. (1996). Contribució a l'estudi de les molleres dels Pirineus. *Folia Bot. Miscelanea*, 10: 175-201.
- CHAUVELIER, F. (1990). *La repoblación forestal en la provincia de Huesca y sus impactos geográficos*. IEA. Huesca. Colección de Estudios Altoaragoneses, 34. 164 pp.
- CHOCARRO, C.; FANLO, R., & FILLAT, F. (1988). Influencia de la gestión ganadera en la composición florística y producción de los prados de siega altoaragoneses. *Monografías del Instituto Pirenaico de Ecología*, 4 ("Homenaje a Pedro Montserrat"): 793-805.
- CHOUARD, P. (1928). Excursions botaniques dans les Pyrénées Centrales espagnoles entre la Cinqueta et le río Ara. *Bull. Soc. Bot. France*, 75: 957-966.
- CHOUARD, P. (1934). Autour des Cañons de Niscle et d'Arazas. Botanique et Géographie du Haut-Aragon. *Hispania Opuscula*, 1: 88-102.
- CHOUARD, P. (1942). Le peuplement végétal des Pyrénées Centrales: 1. Les montagnes calcaires de la vallée de Gavarnie. *Bull. Soc. Bot. France*, 89 (12): 257-260.
- CHOUARD, P. (1943). Le peuplement végétal des Pyrénées Centrales: 1. Les montagnes calcaires de la vallée de Gavarnie (suite 1). *Bull. Soc. Bot. France*, 90: 1-6.
- CHOUARD, P. (1943). Le peuplement végétal des Pyrénées Centrales: 1. Les montagnes calcaires de la vallée de Gavarnie (suite 2). *Bull. Soc. Bot. France*, 90: 25-29.
- CHOUARD, P. (1949). Coup d'oeil sur les groupements végétaux des Pyrénées Centrales. *Bull. Soc. Bot. France*, 96: 145-149.
- CIRUJANO, S., & VELAYOS, M. (1993). *Rielletea helicophyllae* una nueva clase fitosociológica de plantas acuáticas. *Bot. Complutensis*, 18: 203-211.
- COMISIÓN EUROPEA (2003). *Interpretation manual of European Union habitats. EUR25*. D. G. Environment, Nature and Biodiversity. 128 pp.
- COMPS, B.; LETOUZEY, J., & TIMBAL, J. (1986). Étude synsystématique des hêtraies pyrénéennes et des régions limitrophes (Espagne et Piémont aquitain). *Phytocoenologia*, 14(2): 145-236.
- CONESA, J. A. (1990). Notes i addicions sobre la vegetació del territori sicòric, I. *Fol. Bot. Misc.*, 7: 87-97.

- CONESA, J. A. (2001). *Flora i vegetació de les serres marginals prepirinenques compreses entre el riu Segre i Noguera Ribagorçana*. IEL. Diputació Provincial de Lérida. 383 pp.
- CONESA, J. A. (1990). Comunitats vegetals del curs inferior del riu Segre. *Ilerda (Ciències)* 48: 9-38.
- CONESA, J. A., & RECASENS, J. (1990). Caracterització fitosociològica de *Moricandia moricandioides* (Boiss.) Heywood a la depressió de l'Ebre. *Ilerda (Ciències)*, 48: 39-44.
- CONESA, J. A., & RECASENS, J. (1998). Zonació de brolles de l'aliança *Rosmarino-Ericion* en funció de paràmetres climàtics a l'Aragó i Catalunya. *Acta Bot. Barcinon.*, 45: 455-472.
- COSTA TENORIO, M.; MORLA, C., & SAINZ OLLERO, H. (1985). Contribución a la tipificación de los sabinars albares (*Juniperus thurifera* L.) en el Sistema Ibérico meridional. *Lazaroa*, 7: 307-317.
- COSTA TENORIO, M.; MORLA, C., & SAINZ OLLERO, H. (1986). Estudio fitoecológico de los sabinars albares (*Juniperus thurifera* L.) de la provincia de Teruel L. *Teruel*, 76: 51-134.
- COSTA TENORIO, M.; MORLA, C., & SAINZ OLLERO, H. (2000). Fitoecología y corología de *Krascheninikovia ceratoides* en el valle del Ebro. *Actas del Congreso Botánico Homenaje a Francisco Loscos Bernal*: 497-511. IET. Teruel.
- CRESPO, M. B.; JUAN, A., & COCA, B. (2003). Una nueva asociación prepirenaica de *Asplenion petrarchae* Br.-Bl. in Meier & Br.-Bl. 1934 nom. mut. *Acta Bot. Malacitana*, 28: 215-220.
- CRESPO, M. B.; PITARCH, R., & LAGUNA, E. (2008). Datos sobre las tiledas ibéricas (*Tilio-Acerion* Klika 1955). *Flora Montiberica*, 39: 3-13.
- CRESPO, M. B., & RIVAS MARTÍNEZ, S. (2006). *Onopordo acauli-Verbascetum montani*: nuevo nombre para los cardizales oroibéricos. *Flora Montiberica*, 32: 21-27.
- CRESPO, M. B.; SOLANAS, J. L., & CAMUÑAS, E. (1999). Dos nuevos sintaxones rupícolas bilbilitanos, refugio de endemismos de área restringida. *Flora Montiberica*, 13: 38-46.
- CUATRECASAS, J. (1931). De Flora Pyrenaea. Ojeada a la cliserie del valle de Ordesa. *Cavannillesia*, 4: 113-127.
- CURCÓ, A. (2001). La vegetación del Delta del Ebro (V): las comunidades helofíticas e higrófilas (clases *Phragmiti-Magnocaricetea* y *Molinio-Arrhenatheretea*). *Lazaroa*, 22: 67-81.
- CURCÓ, A. (2008). La vegetació del Delta de l'Ebre (VII): els tamarigars (classe *Nerio-Tamaricetea* Br.-Bl. et Bolòs 1958). Revisió sintaxonòmica dels tamarigars de Catalunya. *Acta Bot. Barcinon.*, 51: 79-91.
- DEVEAU, B. (1987). *La transition bioclimatique et phytogéographique de l'alpin à l'oro-atlantique. Les hauts massifs des Pyrénées occidentales*. Thèse. Université Scientifique, Technologique et Médicale de Grenoble.
- DÍAZ, L.; ESCUDERO, A.; MARTÍNEZ, F., et alii (1989). Los matorrales de sabina rastrera en el macizo del Moncayo. *Turiaso*, 9(2): 443-454.

- ERVITI, J. (1990). Paisaje vegetal de la Navarra media oriental. *Príncipe de Viana (Sup. Cien.)*, 9: 95-166.
- ESCUADERO ALCÁNTARA, A. (1992). *Estudio fitoecológico de las comunidades rupícolas y glerícolas del macizo del Moncayo*. Departamento de Biología Vegetal, I. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Complutense. Madrid.
- ESCUADERO, A.; GAVILÁN, R., & PAJARÓN, S. (1994). Saxicolous communities in the Sierra del Moncayo (Spain). A classificatory approach. *Coenoses*, 9(1): 15-24.
- ESCUADERO, A., & HERRERO, A. (1995). Algunas comunidades saxícolas moncayenses. *Lazaroa*, 15: 193-204.
- ESCUADERO, A., & PAJARÓN, S. (1996). La vegetación rupícola del Moncayo silíceo. Una aproximación basada en un Análisis Canónico de Correspondencias. *Lazaroa*, 16: 105-132.
- ESCUADERO, A.; PAJARÓN, S., & COSTA, M. (1990). Consideraciones fitogeográficas sobre la flora vascular rupícola del macizo del Moncayo (Zaragoza, España). *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Biol.)*, 86 (1-4): 151-160.
- FABREGAT, C., & GARCÍA NAVARRO, E. (1993). Estudio de las comunidades vegetales del área de Javalambre. *Surcos de Aragón*, 39: 30-34. Zaragoza.
- FABREGAT, C.; GARCÍA NAVARRO, E., & MATEO, G. (1988). Observaciones sobre la flora y vegetación potencial de la cuenca del río Monleón (Castellón-Teruel). *Carlos Pau Español (1857-1937). Congreso Conmemorativo, 1987. Boletín del Centro de Estudios del Alto Palancia*, 14-16: 153-162.
- FABREGAT, C., & LÓPEZ-UDÍAS, S. (1994a). *Estudio de las comunidades vegetales del área de los Puertos de Beceite (Teruel)*. Informe para el Gobierno de Aragón. Inédito.
- FABREGAT, C., & LÓPEZ-UDÍAS, S. (1994b). *Estudio de las comunidades vegetales del área del Maestrazgo (Cantavieja, Teruel)*. Informe para el Gobierno de Aragón. Inédito.
- FABREGAT, C., & LÓPEZ-UDÍAS, S. (2002). *Estudio de las comunidades vegetales de la sierra de Gúdar (Teruel)*. Informe para el Gobierno de Aragón. Inédito. 124 pp.
- FABREGAT, C., & LÓPEZ-UDÍAS, S. (2004). *Estudio de las comunidades vegetales del valle del Mijares (Teruel)*. Informe para el Gobierno de Aragón. Inédito. 122 pp.
- FANLO DOMÍNGUEZ, R. (1972). *Comunidades arvenses de la Jacetania*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Complutense. Madrid. 29 pp. mecanografiadas.
- FANLO DOMÍNGUEZ, R. (1979). *Estudio fitotopográfico de las crestas del Pirineo oscense*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Complutense. Madrid. 306 pp.
- FANLO, R. (1988). *Kickxio-Nigelletum gallicae*, nueva asociación arvense para la depresión media altoaragonesa. *Acta Bot. Barcinon.*, 37: 165-171.
- FERNÁNDEZ CASAS, F. J. (1970). Notas fitosociológicas breves, I. *Ars Pharm.*, 11: 273-298.
- FERNÁNDEZ CASAS, F. J. (1970). Notas sobre vegetación. *Publ. Inst. Biol. Apl.*, 49: 111-120.

- FERNÁNDEZ CASAS, F. J. (1972). Notas fitosociológicas breves, II. *Trab. Dep. Univ. Granada*, 1: 21-57.
- FERNÁNDEZ CASAS, F. J. (1974). Notas fitosociológicas breves, III. *Cuad. C. Biol.*, 3: 91-95.
- FERNÁNDEZ CASAS, F. J., & BENITO ALONSO, J. L. (1999). Lectotipificación del *Adiantum Pinguiculetum longifoliae* Fern. Casas 1970. *Lazaroa*, 20: 114.
- FERNÁNDEZ GALIANO, E. (1953). Observaciones ecológicas sobre las alineaciones silúricas de la provincia de Zaragoza. *Anales Inst. Bot. A. J. Cavanilles*, 11 (1): 569-584.
- FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F.; MOLINA, A., & LOIDI, J. (1990). Contribución al estudio de los matorrales aragoneses: los salviares riojano-estelleses. *Anales Jard. Bot. Madrid*, 42(2): 451-459.
- FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F.; MOLINA, A., & LOIDI, J. (1990). Los tarayales de la depresión del Ebro. *Acta Bot. Malacitana*, 15: 311-322.
- FERRÁNDEZ, J. V. (1988). Una excursión montañera y botánica por los valles de Benasque (5-12 de agosto de 1987). "Homenaje a Pedro Montserrat". *Monografías del Instituto Pirenaico de Ecología*, 4: 181-185.
- FERRÁNDEZ, J. V. (1996). Peculiaridades florísticas de algunas sierras orientales de la provincia de Huesca. *Cuadernos CEHIMO*, 23: 183-194.
- FERRÁNDEZ, J. V. (1997). *Astragalus granatensis* Lam. subsp. *granatensis* (Leguminosae) en el Prepirineo oscense. Corología, ecología, fitosociología y estado de conservación. *Lucas Mallada*, 8: 73-88.
- FERRÁNDEZ, J. V. (2000). Aproximación a la flora y vegetación de los cerros y sasos de la comarca de Monzón. *Actas del Congreso de Botánica en homenaje a Francisco Loscos*: 621-624. IET. Diputación Provincial de Teruel.
- FERRÁNDEZ, J. V. (2003). Originalidad de la flora de los sasos, muelas, ripas y gesas del Cinca Medio y comarcas vecinas (provincia de Huesca). *Cuadernos CEHIMO*, 30: 287-311.
- FERRÁNDEZ, J. V., & SESÉ, J. A. (1996). *Flora y vegetación del piso alpino del Pirineo aragonés*. 2 vols. Informe inédito. IEA. Huesca.
- FERRER PLOU, J. (1990). Marojales y quejigales del noroeste de la provincia de Teruel. *Teruel*, 80-81(1): 179-194.
- FERRER PLOU, J. (1993). *Flora y vegetación de las sierras de Cucalón y Fonfría*. Diputación General de Aragón. Zaragoza. Naturaleza en Aragón, nº 4. 333 pp.
- FIGUEROLA, R., & MATEO, G. (1987). Contribución al estudio de las comunidades del orden *Potentilletalia caulescentis* en la Península Ibérica: alianza *Jasionion foliosae*. *Lazaroa*, 7: 327-335.
- FIGUEROLA, R., & MATEO, G. (2000). Comunidades rupícolas silicícolas de la provincia de Teruel. *Actas del Congreso de Botánica en homenaje a Francisco Loscos*: 729-738. IET. Diputación Provincial de Teruel.
- FONT CASTELL, X. (1992). L'aliança *Mesobromion erecti* al vessant meridional dels Pirineus centrals i orientals. *Actes Simp. Int. Bot. Pius Font i Quer 2 (Fanerogamia)*: 257-269.

- FONT CASTELL, X. (1993). Estudis geobotànics sobre els prats xeròfils de l'estatge montà dels Pirineus. *Inst. Est. Catalans, Arxius Secc. Cièn.*, 105: 1-828.
- FONT, X., & NINOT, J. M. (1990). L'aliança *Sedo-Scleranthion* als Pirineus catalans. *Fol. Bot. Misc.*, 7: 141-155.
- FONT, X.; NINOT, J. M.; PERDIGÓ, M. T., & VIGO, J. (1988). L'ordre *Galio-Alliarietalia* a Catalunya. *Acta Bot. Barcinon.*, 37: 201-222.
- FONT QUER, P. (1954). Le *Festucetum hystricis*, une association montagnarde nouvelle de l'Espagne. *Vegetatio*, 5-6: 135.
- FRÖDIN, J. (1926). *Contribution à la connaissance de la végétation des Pyrénées centrales espagnoles*. Lunds. Univ. Arsskrift. Lund. 49 pp. + 4 láminas.
- FUERTES, E.; MENDIOLA, Á., & BURGAZ, A. R. (1984). Nueva comunidad de la sierra del Moncayo. *Anales Jard. Bot. Madrid*, 40(2): 433-435.
- GAMISANS, J., & GRUBER, M. (1981). À propos d'*Arctostaphylos alpinus*, de l'*Empetro-Vaccinietum* et des bouloises subalpines en Pyrénées centrales. *Écol. Médit.*, 7(2): 39-44.
- GAMISANS, J., & GRUBER, M. (1988). Els boscos de Pinassa (*Pinus nigra* subsp. *salzmannii*) als Pirineus Catalans i Est-Aragonesos: Estudi fitosociològic. "Homenaje a Pedro Montserrat". *Monografías del Instituto Pirenaico de Ecología*, 4: 534-552.
- GAMISANS, J.; GRUBER, M., & REGATO, P. (1991). Les forêts de *Pinus nigra* subsp. *salzmannii* des Pyrénées aragonaises. *Lazaroa*, 12: 147-151.
- GARCÍA AMORENA, L. (1989). Vegetación leñosa del somontano del Moncayo. *Turiaso*, 9(1): 433-442.
- GARRIDO, J. (2006). *Estudi dels aiguamolls en el municipi de Fraga i mesures de planificació i gestió de l'us sostenible*. Institut d'Estudis del Baix Cinca. Fraga (Huesca). La Sitja, nº 22. 204 pp.
- GAUSSEN, H. (1934). Sol, climat et végétation des Pyrénées espagnoles. *Rev. Acad. Ci. Zaragoza*, 18: 109-175.
- GAUSSEN, H. (1956). La végétation des Pyrénées espagnoles. *Veröff Geobot. Rüb.*, 31: 90-123.
- GIL PELEGRÍN, E., & MONTSERRAT MARTÍ, G. (1992). Notas sobre distribución y ecología de *Genista teretifolia* Willk. *Actes del Simposi Internacional de Botànica Pius Font i Quer, 1988, vol. II*: 353-358. Lérida.
- GÓMEZ GARCÍA, D. (1986). *Flora y vegetación de Peña Montañesa – Sierra Ferrera y valle de la Fueva (Alto Sobrarbe, Huesca)*. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona. Barcelona.
- GÓMEZ GARCÍA, D. (2008). Clave para la clasificación de los pastos más abundantes en el Pirineo. En FILLAT, F.; GARCÍA GONZÁLEZ, R.; GÓMEZ GARCÍA, D., & REINÉ, R. (eds.). *Pastos del Pirineo*: 287-301. CSIC. Diputación Provincial de Huesca. Madrid.
- GÓMEZ GARCÍA, D. (2008). Métodos para el estudio de los pastos, su caracterización ecológica y valoración. En FILLAT, F.; GARCÍA GONZÁLEZ, R.; GÓMEZ GARCÍA, D., & REINÉ, R. (eds.). *Pastos del Pirineo*: 75-109. CSIC. Diputación Provincial de Huesca. Madrid.

- GÓMEZ GARCÍA, D. (2008). Pastos del Pirineo: breve descripción ecológica y florística. En FILLAT, F.; GARCÍA GONZÁLEZ, R.; GÓMEZ GARCÍA, D., & REINÉ, R. (eds.). *Pastos del Pirineo*: 111-140. CSIC. Diputación Provincial de Huesca. Madrid.
- GÓMEZ GARCÍA, D., & MONTSERRAT MARTÍ, G. (1986). Cap. V. Observaciones sobre flora y vegetación en la cuenca de La Laguna de Sariñena. En PEDROCCHI, C., et alii (eds.). *Estudio multidisciplinar de La Laguna, Sariñena (Huesca)*: 79-100. IEA. Huesca. Colección de Estudios Altoaragoneses, 6.
- GÓMEZ GARCÍA, D.; MONTSERRAT MARTÍ, G., & FERRER PLOU, J. (1982). *Aportación al estudio de la flora y la vegetación de la cuenca endorreica de la laguna de Gallo-canta*. Jaca. 166 pp.
- GÓMEZ GARCÍA, D.; SESÉ, J. A., & VILLAR, L. (2003). The vegetation of the alpine zone in the Pyrenees. En *Alpine Biodiversity in Europa* (HAGY, L., et alii, eds.). *Ecological Studies*, 167: 85-92.
- GRASA, M., & BENITO ALONSO, J. L. ([1997]1999). Primera cita de *Myricaria germanica* (Tamaricaceae) para el valle del Ara. *Lucas Mallada*, 9: 207-209.
- GRUBER, M. (1980a). Les forêts du Cotiella. *Le Monde des Plantes*, 402: 7-8.
- GRUBER, M. (1980b). Dissymétrie climatique et forestière dans les Pyrénées. *Forêt Méditerranéenne*, 1(2): 135-140.
- GRUBER, M. (1980c). Étages et séries de végétation de la chaîne pyrénéenne. *Écol. Médit.*, 5: 147-174.
- GRUBER, M. (1996). Les callunaies montagnardes à *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Sprengel des Hautes-Pyrénées (France). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 132: 25-28.
- GRUBER, M. (1997). Les pinédes sylvestres mésophiles des Hautes-Pyrénées (France). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 133: 15-19.
- HUGUET DEL VILLAR, E. (1925). Avance geobotánico sobre la pretendida estepa central de España. I. El problema y el método. *Ibérica (Tortosa)*, 13(576): 281-283.
- HUGUET DEL VILLAR, E. (1925). Avance geobotánico sobre la pretendida estepa central de España. II. *Xero-Quercetum* climax y sus facies. *Ibérica (Tortosa)*, 13(577): 297-302.
- HUGUET DEL VILLAR, E. (1925). Avance geobotánico sobre la pretendida estepa central de España. III. Etapas y fases subseriales. *Ibérica (Tortosa)*, 13(579): 328-333.
- HUGUET DEL VILLAR, E. (1925). Avance geobotánico sobre la pretendida estepa central de España. IV. Lithoseries. *Ibérica (Tortosa)*, 13(580): 344-350.
- IBARRA, P.; BARRÓN, G.; LONGARES, L. A.; PÉREZ, F., & SESÉ, P. (1994). Dinámica vegetal de la pradera-tamarizal en el Galacho de Juslibol (Zaragoza). *Geographicalia*, 31: 115-126.
- IBARRA, P., & ECHEVERRÍA, M. T. (2004). Relaciones clima, suelo y vegetación en la vertiente noreste del Moncayo. En PEÑA, J. L.; LONGARES, L. A., & SÁNCHEZ, M. (eds.). *Geografía física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*: 199-211. Universidad de Zaragoza e IFC. Zaragoza.

- IBARRA, P., & PÉREZ CABELLO, F. (1997-2000). La vegetación del alto valle de Tena. *Boletín Glaciológico Aragonés*, 1: 127-149.
- IBARRA, P., & PÉREZ CABELLO, F. (2002). La vegetación de los altos valles del Ésera y del Noguera Ribagorzana. *Boletín glaciológico aragonés*, 3: 163-182.
- IBARRA, P., & RIVA, J. R. (1995). Dinámica de la cubierta del suelo como resultado de la despoblación y la intervención del Estado: el valle de la Garcipollera (Huesca). En ACÍN FANLO, J. L., & PINILLA, V. J. (eds.). *Pueblos abandonados ¿un mundo perdido?:* 117-140. Rolde de Estudios Aragoneses. Zaragoza.
- IZARD, M. (1988). Sur la continentalité dans les Pyrénées et son impact sur la végétation. "Homenaje a Pedro Montserrat". *Monografías del Instituto Pirenaico de Ecología*, 4: 597-602.
- IZCO, J.; FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F., & MOLINA, A. (1984). El orden *Tamaricetalia* Br.-Bl. & Bolòs 1957 y su ampliación con los tarayales hiperhalófilos. *Doc. Phytosociol.*, 8: 377-392.
- KLEIN, J.-C. (1979). Application de l'analyse factorielle des correspondances à l'étude phytosociologique de l'étage alpin des Pyrénées centrales. *Phytocoenologia*, 5(2): 125-188.
- LAZARE, J. J., & MAURIC, A. (1986). *L'Helictotricho-Bellardiochloetum violaceae* et le *Primulo-Horminetum pyrenaici*, associations orophiles nouvelles des Pyrénées occidentales. *Colloq. Intern. Bot. Pyrén. La Cabanasse*: 413-420.
- LAZARE, J. J.; MONTSERRAT, P., & VILLAR, L. (1991). *Session extraordinaire de la Société Botanique de Genève en Aquitaine – Landes – Pays Basque – Soule – Pyrénées d'Haute Aragon, 8 au 14 juillet*. Société Botanique de Genève. Gabas.
- LOIDI, J. (1994). Phytosociology applied to nature conservation and land management. En *Applied Vegetation Ecology. Proceed. 35th Symposium IAVS*. Shanghai. East China Normal Univ. Press.
- LOIDI, J. (1999). Preserving Biodiversity in the European Union: the Habitats Directive and its application in Spain. *Plant Biosystems*, 133 (2): 99-106.
- LOIDI, J.; BÁSCONES, J. C.; URSÚA, C., & CASAS-FLECHA, I. (1988). Revisión de los matorrales de la alianza *Genistion occidentalis* en las provincias Vascongadas y Navarra. *Doc. Phytosoc.*, 11: 311-321.
- LOIDI, J., & BERAESTEGUI, A. (1996). Datos sobre la vegetación casmofítica basófila de la alianza *Asplenio celtiberici-Saxifragion cuneatae*. *Lazaroa*, 17: 107-116.
- LOIDI, J.; BERAESTEGUI, A.; BIURRUN, I.; GARCÍA-MIJANGOS, I., & HERRERA, M. (1996). Perennial nitrophilous vegetation of the northern Iberian Peninsula. *J. Veg. Sci.*, 7: 575-584.
- LOIDI, J., & COSTA, M. (1997). Sintaxonomía de los matorrales gipsícolas españoles. *Fitosociología*, 32: 221-227.
- LOIDI, J., & FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F. (1994). The gypsophilous scrub communities of the Ebro Valley (Spain). *Phytocoenologia*, 24: 383-399.

- LOIDI, J.; FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F., & MOLINA, A. (2000). Pródromo de las comunidades de matorral de la depresión del Ebro. *Actas del Congreso de Botánica en homenaje a Francisco Loscos*: 543-570. IET. Diputación Provincial de Teruel.
- LOIDI, J.; GARCÍA-MIJANGOS, I.; HERRERA, M.; BERASTEGUI, A., & DARQUISTADE, A. (1997). Heathland vegetation of the northern-central part of the Iberian Peninsula. *Folia Geobot. & Phytotax.*, 32: 259-281.
- LOIDI, J.; HERRERA, M.; BIURRUN, I., & GARCÍA-MIJANGOS, I. (1999). Relationships between syntaxonomy of *Thero-Salicornietea* and taxonomy of the genera *Salicornia* and *Suaeda* in the Iberian Peninsula. *Folia Geobotanica*, 34: 97-114.
- LOIDI, J.; HERRERA, M.; GARCÍA-MIJANGOS, I., & BIURRUN, I. (2004). Forest edge herbaceous vegetation (Trifolio-Geranietea) of northern Spain. *South African Journal of Botany*, 70 (2): 284-297.
- LONGARES, L. A. (1997). *El paisaje vegetal en el entorno de la Reserva Ornitológica "El Planerón"*. Consejo de Protección de la Naturaleza y Sociedad Española de Ornitología. Zaragoza. Serie Investigación, nº 7. 202 pp.
- LONGARES, L. A. (2002). Estudio de la población de *Senecio auricula* al sur del vértice sillero (Valmadrid, Zaragoza). En LONGARES, L. A., & PEÑA, J. L. (eds.). *Aportaciones geográficas en memoria del profesor L. Miguel Yetano Ruiz*: 333-344. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza. Zaragoza.
- LONGARES, L. A. (2004). El paisaje vegetal en el sector aragonés del Moncayo. En PEÑA, J. L.; LONGARES, L. A., & SÁNCHEZ, M. (eds.). *Geografía física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*: 187-197. Universidad de Zaragoza e IFC. Zaragoza.
- LONGARES, L. A. (2004). Planas y estepas del sector meridional del valle del Ebro. En PEÑA, J. L.; LONGARES, L. A., & SÁNCHEZ, M. (eds.). *Geografía física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*: 275-287. Universidad de Zaragoza e IFC. Zaragoza.
- LÓPEZ GONZÁLEZ, G. (1976). Contribución al conocimiento fitosociológico de la serranía de Cuenca, I. *Anales Inst. Bot. Cavanilles*, 33: 5-87.
- LÓPEZ GONZÁLEZ, G. (1978). Contribución al conocimiento fitosociológico de la serranía de Cuenca, II. *Anales Inst. Bot. Cavanilles*, 34(2): 597-701.
- LOSA, T. M. (1948). Notas sobre la flora y vegetación de la sierra de Guara. *Collect. Bot. (Barcelona)*, 2: 65-98.
- LOZANO, M. V.; PEÑA, J. L.; LONGARES, L. A., & SÁNCHEZ-FABRE, M. (2004). Cañones del río Martín entre Oliete y Albalate del Arzobispo (Cordillera Ibérica, Teruel). PEÑA, J. L.; LONGARES, L. A., & SÁNCHEZ, M. (eds.). *Geografía física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*: 213-230. Universidad de Zaragoza e IFC. Zaragoza.
- MADOTZ, N.; CAVERO, R. Y., & EDERRA, A. (2003). Estudio florístico de un pinar-abetal de la Red Europea de Seguimiento de los Ecosistemas Forestales. *Acta Bot. Barcinon.*, 49: 267-280.
- MARCO MOLL, H. (1981). Estudio de la vegetación en el río Piedra: términos de Embid-Aldehuela de Liestos. *An. Est. Exper. Aula Dei*, 15(3-4): 281-303.

- MARCO MOLL, H. (1982). Estudio botánico de las lagunas endorreicas de Magallón (Zaragoza). *An. Est. Exper. Aula Dei*, 16(1-2): 55-66.
- MARTÍNEZ CABEZA, A. (1997). El alcornocal de Sestrica. (Una singularidad aragonesa poco conocida). *Actas del IV Encuentro de Estudios Bilbilitanos*. 1993: 31-40. IFC-CEB. Calatayud.
- MATEO, G. (1983). Sobre la vegetación de la alianza *Homalothecio-Polypodium serrati* en las montañas valencianas. *Lazaroa*, 5: 111-118.
- MATEO, G. (1996). Sobre la vegetación de los roquedos silíceos de las partes centrales del Sistema Ibérico. *Flora Montiberica*, 2: 28-31.
- MAYOR, M. (1968). Analogías florísticas y fitosociológicas entre las sierras de Gúdar y Pela. *Collect. Bot. (Barcelona)*, 7(2): 767-779.
- MAYOR, M. (1969). Estudio de las nardetas y erioforetas del Sistema Central y las disyuntas del Maestrazgo. *Rev. Fac. Ci. Oviedo*, 10(1): 213-220.
- MENDIOLA, M. A.; BURGAZ, A. R., & FUERTES, E. (1984). Estudio fitosociológico de las comunidades de *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. en el Moncayo. *Collect. Bot. (Barcelona)*, 15: 307-310.
- MOLERO BRIONES, J., & BLANCHÉ, C. (1990). *Stellario pallidae-Chenopodietum exsuccii* Molero & Blanché, nueva asociación de la comarca de los Monegros (valle del Ebro). *Collect. Bot. (Barcelona)*, 18: 160-162.
- MOLERO BRIONES, J., & BLANCHÉ, C. (1998). La flora vascular y el paisaje vegetal de Los Monegros. En PEDROCCHI, C. (coord.). *Ecología de Los Monegros*: 167-203 y 367-371. IEA y Centro de Desarrollo de Monegros. Huesca.
- MOLERO BRIONES, J., & ROVIRA, A. M. (1989). Nuevas comunidades fruticosas de los Ports de Beseit (SW de Cataluña) y territorio circundante. *Anales de Biología*, 15 (Biol. Veg., 4): 143-152.
- MOLERO, J.; SÁEZ, L., & VILLAR, L. (1998). Interés florístico y geobotánico de la sierra de Alcubierre (Monegros, Aragón). *Acta Bot. Barcinon.*, 45: 363-390.
- MOLINA ABRIL, J. A. (1996). Sobre la vegetación de los humedales de la Península Ibérica (1. *Phragmiti-Magnocaricetea*). *Lazaroa*, 16: 27-88.
- MOLINA, A., & IZCO, J. (1986). Comportamiento ecológico y fitosociológico de *Astragalus granatensis* Lam. en la provincia castellano-maestrazgo-manchega. *Trab. Dep. Botánica (Univ. Complutense)*, 13: 83-97.
- MOLINA, A.; LOIDI, J., & FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, F. (1993). Sobre las comunidades de matorral de la depresión del Ebro (España). *Bot. Complutensis*, 18: 11-50.
- MOLINA ABRIL, J. A., & PERTÍÑEZ, C. (1998). Estudio integrado de la vegetación de ribera del tramo medio del río Cinca. VII. *Cuadernos CEHIMO*. Monzón. 76 + 46 pp.
- MOLINA ABRIL, J. A., & PERTÍÑEZ, C. (2005). Adiciones al informe final sobre el estudio integrado de la vegetación de ribera del tramo medio del río Cinca. *Cuadernos CEHIMO*, 32: 51-100. Monzón.

- MONTSERRAT MARTÍ, G. (1986). Datos para el estudio de la alianza *Aphyllanthion* Br.-Bl. en el Prepirineo aragonés. *Collect. Bot. (Barcelona)*, 16(2): 391-395.
- MONTSERRAT MARTÍ, G. (1986). *Flora y vegetación del macizo del Cotiella y sierra de Chía (Pirineo aragonés)*. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona. Barcelona. 512 pp.
- MONTSERRAT MARTÍ, G. (1987). La vegetación de las gleras y pedregales en el Cotiella y la sierra de Chía. *Actes du premier Colloque International de Botanique Pyrénéenne. La Cabanase (Pyrénées Orientales)*: 427-441. Université Paul Sabatier. Toulouse.
- MONTSERRAT MARTÍ, G. (1989). Las comunidades vegetales rupícolas (clase *Asplenietea rupestris*) en el Cotiella y la sierra de Chía (Prepirineo central de Huesca). *Lucas Mallada*, 1: 103-118.
- MONTSERRAT MARTÍ, G. (1989). Paisaje vegetal y síntesis de la vegetación del macizo de Cotiella y la sierra de Chía (Prepirineo central de Huesca). *Lucas Mallada*, 1: 119-132.
- MONTSERRAT MARTÍ, G. (2000). Aspectos de la vegetación en el Pirineo central: algunas comunidades de la clase *Ononido-Rosmarinetea* principalmente del Cotiella y la sierra de Chía. *Actas del Congreso de Botánica en homenaje a Francisco Loscos (1823-1886)*: 739-753. IET. Diputación Provincial de Teruel.
- MONTSERRAT MARTÍ, J. M. (1986). *Flora y vegetación de la sierra de Guara (Prepirineo aragonés)*. Diputación General de Aragón. Zaragoza. Colección Naturaleza en Aragón, nº 1. 334 pp.
- MONTSERRAT, P. (1953). El Turbón y su flora. *Pirineos*, 29: 169-228.
- MONTSERRAT, P. (1956). *Los pastizales aragoneses. Avance sobre los pastos aragoneses y su mejora*. Ministerio de Agricultura. Madrid. 190 pp.
- MONTSERRAT, P. (1960). El *Mesobromion* prepirenaico. *Anales Inst. Bot. Cavanilles*, 18: 295-304.
- MONTSERRAT, P. (1962). La prelanda en los Pirineos occidentales. *III Reunión Científica de la SEEP*: 33-34.
- MONTSERRAT, P. (1968). Pastos orófitos del Pirineo occidental español. *Pirineos (Actas V Cong. Intern. Est. Pir., 2)*, 79-80: 181-200.
- MONTSERRAT, P. (1968). Los hayedos navarros. *Collect. Bot. (Barcelona)*, 7(2): 845-893.
- MONTSERRAT, P. (1975). Enclaves florísticos mediterráneos en el Pirineo. En *Primer Centenario de la R. Soc. Española de Hist. Nat.*, 2: 363-376.
- MONTSERRAT, P. (1975). Comunidades relictas geomorfológicas. *Anales Jard. Bot. Madrid*, 32(2): 397-404.
- MONTSERRAT, P. (1978). *La originalidad florística del Pirineo central español. Dinámica de la vegetación en el Parque Nacional de Ordesa ampliado*. ICONA. Huesca. Inédito. 7 pp. mecanografiadas.
- MONTSERRAT, P. (1980). La biogéographie méditerranéenne en bordure du Bassin de l'Èbre. *Com. al "Colloque sur l'Origine de la Flore Méditerranéenne"*. Montpellier. 5 pp. mecanografiadas.

- MONTSERRAT, P. (1983). Aspectos corológicos del dinamismo fitotopográfico. *Collec. Bot. (Barcelona)*, 14: 441-452.
- MONTSERRAT, P. (1986). Los abetales jacetanos de Oroel y San Juan de la Peña. En *Colloque International de Botanique Pyrénéenne*: 93-97. Toulouse.
- MONTSERRAT, P. (2000). El sisallar, su pasado, presente y futuro. Escorrentías salobres en las vales aragonesas y uso ganadero de las tierras marginales. *Actas del Congreso de Botánica en homenaje a Francisco Loscos*: 483-496. IET. Diputación Provincial de Teruel.
- MONTSERRAT, P.; GÓMEZ-GARCÍA, D.; MARTÍNEZ, A., & URIBE-ECHEBARRÍA, P. M. (2003). El roble (*Quercus robur* L.) y otras plantas boreales en crisis en el macizo del Moncayo (Soria-Zaragoza). *Collect. Bot. (Barcelona)*, 26: 141-157.
- MONTSERRAT, P.; GÓMEZ-GARCÍA, D., & MONTSERRAT-MARTÍ, G. (1984). Phytosociologie et dynamique prairiales de quelques cultures pyrénéennes intégrées à leur paysage. *Documents d'Écologie Pyrénéenne*, III-IV: 471-479.
- MONTSERRAT, P.; MONTSERRAT MARTÍ, J. M., & MONTSERRAT-MARTÍ, G. (1984). Estudio de las comunidades de *Echinopartum horridum* en el Pirineo español. *Acta Biol. Montana*, 4: 249-257.
- MONTSERRAT, P., & VILLAR, L. (1974). Les communautés endémiques à *Cochlearia aragonensis*. Remarques géobotaniques et taxonomiques. *Doc. Phytosociol.*, 7-8: 3-19.
- MONTSERRAT, P., & VILLAR, L. (1975). Les communautés à *Festuca scoparia* dans la moitié occidentale des Pyrénées (Notes préliminaires). *Doc. Phytosociol.*, 9-14: 207-222.
- MONTSERRAT, P., & VILLAR, L. (1987). Las comunidades de *Saponaria caespitosa* en el Pirineo. *Lazaroa*, 7: 9-24.
- MONTSERRAT, P., & VILLAR, L. (1987). The Vegetation and endemic flora of the Spanish Pyrenees. Guide to Excursion No. 41. *XIV International Botanical Congress*. Berlín. 68 pp.
- MONTSERRAT, P., & VILLAR, L. (1990). Guía de la Excursión a Ordesa (5 de julio de 1989). *Monografías del Inst. Pir. Ecol.*, 5: 709-729.
- NAVARRO SÁNCHEZ, G. (1989a). Contribución al conocimiento de la vegetación del Moncayo. *Opus. Bot. Pharm. Complutensis*, 5: 5-64.
- NAVARRO SÁNCHEZ, G. (1989b). Datos sobre la vegetación del Moncayo. *Turiaso*, 9(1): 423-431.
- NÈGRE, R. (1974). Nouvelle contribution à l'étude des gispetières pyrénéennes. *Bol. Soc. Brot.*, 48: 209-251.
- NÈGRE, R. (1977). Vue d'ensemble sur les pelouses à *Festuca eskia* et *Festuca paniculata* en Pyrénées centrales et occidentales. *Doc. Phytosoc. N. S.*, 1: 181-194.
- NÈGRE, R.; DENDALETCHÉ, C., & VILLAR, L. (1975). Les groupements à *Festuca paniculata* en Pyrénées centrales et occidentales. *Bol. Soc. Brot.*, 49: 59-88.

- NINOT, J. M. (1988). Sobre la vegetació pratense supraforestal del massís del Turbó (Prepirineu Aragonés). *Monogr. Inst. Piren. Ecología (Jaca)*, 4: 677-685.
- NINOT, J. M. (1996). Estudio fitocenológico del macizo del Turbón (Prepirineo central), I: comunidades forestales. *Doc. Phytosociol.*, 16: 215-239.
- NINOT, J. M. (1997). Estudio fitocenológico del macizo del Turbón (Prepirineo central), II: pastos. *Lucas Mallada*, 8: 121-182.
- NINOT, J. M. (2000). La vegetación de los “Ononido-Rosmarinetea” en el macizo del Turbón (Prepirineos centrales). *Actas del Congreso de Botánica en homenaje a Francisco Loscos: 777-796*. IET. Diputación Provincial de Teruel.
- NINOT, J. M.; CARRILLO, E.; FONT, X.; CARRERAS, J.; FERRÉ, A.; MASALLES, R. M.; SORIANO, I., & VIGO, J. (2007). Altitude zonation in the Pyrenees. A geobotanic interpretation. *Phytocoenologia*, 37 (3-4): 371-398.
- NINOT, J. M.; GUÀRDIA, R.; FONT, X., & CARRILLO, E. ([1997] 1999). Estudio fitocenológico del macizo del Turbón (Prepirineo central), III: comunidades herbáceas de ambientes especiales. *Lucas Mallada*, 9: 121-169.
- NINOT, J. M.; ROMO, À. M., & SESÉ, J. A. (1993). *Macizo del Turbón y sierra de Sis: flora, paisaje vegetal e itinerarios (Prepirineo aragonés)*. Gobierno de Aragón. Zaragoza. Naturaleza en Aragón, 6. 495 pp. + 5 mapas.
- OCHOA, M. J. (1982). *Relaciones entre el medio y comunidades vegetales del sabinar continental árido en el valle del Ebro*. Comunicaciones INIA. Serie Recursos Naturales, nº 14.
- OCHOA, M. J. (1992). Especies indicadoras de cloruros en el valle medio del Ebro. *Actes Simp. Int. Bot. Pius Font i Quer 2 (Fanerogamia)*: 291-294.
- OCHOA JARAUTA, M. J. (1977). *Relaciones entre vegetación y tipo-grado de salinidad del suelo*. Estación Experimental Aula Dei – CSIC. Facultad de Ciencias. Universidad de Navarra.
- OCHOA JARAUTA, M. J. (1993). *Estudio de la vegetación de las saladas de Alcañiz*. Servicio de Investigación Agraria. Diputación General de Aragón.
- PASCUAL AUBA, M. I. (1980). *Interpretación botánica de las variaciones topoclimáticas en peñascos del Pirineo (Sierra de San Pedro)*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Complutense. Madrid. 177 pp.
- PEDROCCHI, C. (1994). La importancia de los carrizales en la conservación de la diversidad: el género “Circus” en la Jacetania. *Lucas Mallada*, 6: 227-234.
- PERALTA, J. (1992). *Suelos y vegetación de la sierra de Leyre*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Navarra. Pamplona. 571 pp.
- PERALTA, J., & BÁSCONES, J. C. (1996). Comunidades rupícolas de Navarra. *Anales Jard. Bot. Madrid*, 54: 512-520.
- PERALTA, J.; BÁSCONES, J. C., & ÍÑIGUEZ, J. (1990). Bosques de la sierra de Leyre (Navarra-Zaragoza, NE de España). *Botánica pirenaico-cantábrica*: 559-564. Jaca y Huesca.

- PERALTA, J., & OLANO, J. M. (2001). La transición mediterráneo-eurosiberiana en Navarra: Caracterización de los tomillares y aliagares submediterráneos (*Thymelaeo-Aphyllan-thetum monspeliensis*). *Pirineos*, 156: 27-56.
- PÉREZ-CABELLO, F., & IBARRA, P. (2004). Procesos de regeneración vegetal en comunidades incendiadas (Prepirineo oscense). En PEÑA, J. L.; LONGARES, L. A., & SÁNCHEZ, M. (eds.), *Geografía física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*: 153-162. Universidad de Zaragoza e IFC. Zaragoza.
- PÉREZ GRIJALBO, R.; SESÉ, J. A., & VILLAR, L. (1993). Nouvelle localité de *Calamintha grandiflora* (L.) Moench (Labiatae) dans les Pyrénées espagnoles. *Monde Pl.*, 447: 7-11.
- PITARCH, R. (2002). *Estudio de la flora y vegetación de las sierras orientales del Sistema Ibérico: La Palomita, Las Dehesas, El Rayo y Mayabona (Teruel)*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Zaragoza. Serie Investigación, nº 38. 537 pp.
- PITARCH, R. (2003-2005). Áreas de especial interés florístico y fitosociológico en las sierras orientales del Sistema Ibérico: la Palomita, las Dehesas, El Rayo y Mayabona (Teruel). *Teruel*, 90(1): 103-118.
- PUENTE, J. (1993). *La vegetación del Soto de Cantalobos*. Asociación de Vecinos Barrio de las Fuentes "Civitas". Zaragoza. 66 pp.
- PUENTE, J. (2005). *Flora y vegetación de la balsa de Larralde (Garrapinillos, Zaragoza)*. Informe de Asistencia Técnica. Convenio Confederación Hidrográfica del Ebro y Asociación Naturalista de Aragón. 22 pp.
- PUENTE, J. (2006). *Vegetación del galacho de Boquiñeni (Zaragoza) y su gestión*. Informe inédito. 55 pp.
- PUENTE, J., & SESÉ, J. A. (2004). Los prados de siega del Pirineo. *Natural de Aragón*, 17: 18-21.
- PYKE, S.; PUENTE, J.; FERRER, J., & MERCADAL, N. (1999). *Estudio de la vegetación del entorno del galacho de Juslibol y su gestión*. Informe inédito para el Ayuntamiento de Zaragoza.
- QUÉZEL, P. (1956). À propos de quelques groupements végétaux rupicoles des Pyrénées centrales espagnoles. *Collect. Bot. (Barcelona)*, 5(1): 173-190.
- RECASENS, J.; CONESA, J. A., & SANZ, J. (1988). Caracterización de matorrales con *Boleum asperum* (Pers.) Desv. en la parte oriental de la depresión del Ebro. "Homenaje a Pedro Montserrat". *Monografías del Instituto Pirenaico de Ecología (Jaca)*, 4: 711-717.
- REGATO, P. (1987). *Flora y vegetación del galacho de la Alfranca*. Diputación General de Aragón. Zaragoza. Naturaleza en Aragón, nº 3. 267 pp.
- REGATO, P. (1992). *Caracterización florística y ecológica de los bosques de Pinus nigra subsp. salzmannii del Sistema Ibérico*. Tesis doctoral. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid.

- REGATO, P., & ELENA-ROSSELLÓ, R. (1995). Natural black pine (*Pinus nigra* subsp. *salzmannii*) forests of the Iberian eastern mountains: development of the phytoecological basis for their site evaluation. *Ann. Sci. For.*, 52: 589-606.
- REGATO, P., & ESCUDERO, A. (1989). Caracterización fitoecológica de las comunidades de *Pinus nigra* subsp. *salzmannii* en los afloramientos rocosos del Sistema Ibérico meridional. *Bot. Complutensis*, 15: 149-161.
- REGATO, P.; GAMISANS, J., & GRUBER, M. (1995). A syntaxonomical study of *Pinus nigra* subsp. *salzmannii* forests in the Iberian peninsula. *Phytocoenologia*, 25 (4): 561-578.
- RIVAS GODAY, S., & cols. (1955). Aportaciones a la fitosociología hispánica. *Anales Jard. Bot. Madrid*, 13: 333-422.
- RIVAS GODAY, S., & cols. (1956). Aportaciones a la fitosociología hispánica (nota 2). *Anales Inst. Bot. Cavanilles*, 14: 435-500.
- RIVAS GODAY, S., & BORJA, J. (1961). Estudio de Vegetación y Flórula, del Macizo de Gúdar y Jabalambre. *Anales Inst. Bot. Cavanilles*, 19: 3-550.
- RIVAS GODAY, S.; BORJA, J.; ESTEVE CHUECA, F.; FERNÁNDEZ-GALIANO, E.; RIGUAL, A., & RIVAS MARTÍNEZ, S. (1960). Contribución al estudio de la *Quercetea ilicis* hispánica. *Anales Inst. Bot. Cavanilles*, 17(2): 285-406.
- RIVAS GODAY, S.; ESTEVE CHUECA, F.; RIGUAL, A., & BORJA, J. (1954). Algunas asociaciones de la sierra de Callosa de Segura (prov. de Murcia) y consideraciones acerca de la *Potentilletalia* mediterránea. *Anales Inst. Bot. Cavanilles*, 12(1): 469-500.
- RIVAS GODAY, S., & MADUEÑO, B. (1946). Consideraciones sobre los grados de vegetación del Moncayo. *Farmacognosis*, 5(9): 97-122.
- RIVAS GODAY, S., & RIVAS MARTÍNEZ, S. (1969). Matorrales y tomillares de la Península Ibérica comprendidos en la clase *Ononido-Rosmarinetea* Br.-Bl. *Anales Inst. Bot. Cavanilles*, 25: 5-197.
- RIVAS MARTÍNEZ, S. (1962). Contribución al estudio fitosociológico de los hayedos españoles. *Anales Jard. Bot. Madrid*, 20: 97-128.
- RIVAS MARTÍNEZ, S. (1968). Estudio fitosociológico de los bosques y matorrales pirenaicos del piso subalpino. *Publ. Inst. Biol. Apl.*, 44: 5-44.
- RIVAS MARTÍNEZ, S. (1969). Las comunidades de los ventisqueros (*Salicetea herbaceae*) del Pirineo central. *Vegetatio*, 17: 232-250.
- RIVAS MARTÍNEZ, S. (1969). La vegetación de la alta montaña española. *Simposio Flora Europaea (Sevilla)*: 55-80.
- RIVAS MARTÍNEZ, S. (1969). Vegetatio Hispaniae. Notula I. *Publ. Inst. Biol. Aplic.*, 46: 5-34.
- RIVAS MARTÍNEZ, S. (1974). Los pastizales del *Festucion supinae* y *Festucion eskiae* (*Juncetea trifidi*) en el Pirineo central. *Collect. Bot. (Barcelona)*, 9: 5-23.
- RIVAS MARTÍNEZ, S. (1977). La vegetación de los pedregales de los Pirineos (*Thlaspietea rotundifolii*). *Phytocoenologia*, 4: 193-196.

- RIVAS MARTÍNEZ, S. (1987). *Memoria del mapa de series de vegetación de España 1:400000*. ICONA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 268 pp.
- RIVAS MARTÍNEZ, S. (1988). La vegetación del piso alpino superior de los Pirineos. *Monogr. Inst. Piren. Ecología (Jaca)*, 4: 719-728.
- RIVAS MARTÍNEZ, S. (1990). Los pisos subalpino y alpino de los Pirineos y de la Cordillera Cantábrica: relaciones y diferencias. *Monogr. Inst. Piren. Ecología (Jaca)*, 5: 577-595.
- RIVAS MARTÍNEZ, S.; BÁSCONES, J. C.; DÍAZ, T. E.; FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, F., & LOIDI, J. (1991). Vegetación del Pirineo occidental y Navarra. *Itinera Geobot.*, 5: 5-456.
- RIVAS MARTÍNEZ, S.; BÁSCONES, J. C.; DÍAZ, T. E.; FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, F., & LOIDI, J. (1991). Sintaxonomía de los hayedos del suroccidente de Europa. *Itinera Geobot.*, 5: 457-479.
- RIVAS MARTÍNEZ, S.; DÍAZ, T. E.; FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, F.; IZCO, J.; LOIDI, J.; LOUSA, M., & PENAS, Á. (2002). Vascular plant communities of Spain and Portugal. Addenda to the syntaxonomical checklist of 2001. Part I. *Itinera Geobot.*, 15(1): 5-432.
- RIVAS MARTÍNEZ, S.; PIZARRO, J. M., & SÁNCHEZ-MATA, D. (2000). Series de vegetación del valle medio del río Ebro. *Actas del Congreso de Botánica en homenaje a Francisco Loscos*: 641-652. IET. Diputación Provincial de Teruel.
- ROMO, À. M. (1984a). El clima y la vegetación en los Prepirineos centrales catalanes. *Acta Biol. Mont.*, 4: 231-238.
- ROMO, À. M. (1984b). Les vorades herbàcies de bosc (*Geranion sanguinei*) als Prepirineus Centrals Catalans. *Collect. Bot. (Barcelona)*, 15: 411-414.
- ROMO, À. M. (1989a). Flora i vegetació del Montsec (Pre-pirineus catalans). *Arxius Secc. Ci. Inst. Est. Catalans*, 90. Barcelona. 534 pp.
- ROMO, À. M. (1989b). Aproximación a la vegetación del sector norte del Sistema Ibérico (el Moncayo en relación con otras sierras del sector Ibérico Soriano). *Turiaso*, 9(1): 385-394.
- ROVIRA, A. M. (1986). *Estudi fitogeogràfic de les comarques catalanes compreses entre els Ports de Beseit, el riu Ebre i els límits aragonesos*. Tesis doctoral. Facultad de Farmacia. Universidad de Barcelona.
- ROVIRA LÓPEZ, A. M. (1988). Nuevas comunidades casmofíticas y xeroacánticas de la vertiente nordeste de los Puertos de Beceite. *Carlos Pau Español (1857-1937). Congreso Conmemorativo, 1987. Boletín del Centro de Estudios del Alto Palancia*, 14-16: 163-172.
- SANZ ELORZA, M. (2001). *Flora y vegetación arvense y ruderal de la provincia de Huesca*. Tesis doctoral. Departamento de Hortofruticultura, Botánica y Jardinería. Universidad de Lleida. Lérida. 674 pp. + anexo de mapas.
- SANZ ELORZA, M. (2001). Las comunidades arvenses de los barbechos y rastrojos alzados de los sectores Somontano-Aragonés y Bardenas-Monegros: *Kickxia lanigeræ-Chrozophoretum tinctoriæ* Izco 1975. *Lazaroa*, 22: 143-145.

- SAPPA, F., & RIVAS GODAY, S. (1954). Contributo all'interpretazione della vegetazione dei Monegros. *Allionia*, 2: 1-31.
- SAZ, M. A.; PEÑA, J. L.; LONGARES, L. A.; CREUS, J., & GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C. (2004). Evolución reciente de fondos de valle holocenos en el sector central del valle del Ebro a partir de series de crecimiento radial de *Tamarix canariensis*. En PEÑA, J. L.; LONGARES, L. A., & SÁNCHEZ, M. (eds.). *Geografía física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*: 303-314. Universidad de Zaragoza e IFC, Zaragoza.
- SOBRINO VESPERINAS, E., & SANZ ELORZA, M. (1998). Datos sobre la flora y vegetación de la sierra de Alcubierre (Huesca). *Lagascalia*, 20(2): 231-238.
- SUÁREZ, F., & SÁEZ-ROYUELA, C. (1982). Un medio natural a proteger: las Saladas de Alcañiz. *Teruel*, 67: 153-162.
- TERRADAS, J. (1986). El paisatge vegetal dels Monegros: assaig d'interpretació. *Orsis*, 2: 71-95.
- TURMEL, J. M. (1955). Le Pic du Midi d'Ossau, écologie et végétation. *Mém. Museum Nat. Hist. Nat. Paris, Sér. B, Bot.*, 5: 1-208.
- TÜXEN, R., & OBERDORFER, E. (1958). Die Pflanzenwelt Spaniens. Ergebnisse der 10 Internationalen Pflanzengeographischen Exkursion (IPE) durch Spanien 1953. II Teil. Eurosibirische Phanerogamen-Gesellschaften Spaniens 1953. *Veroff. Geobot. Inst. Rübel in Zürich*, 32: 1-328.
- URIBE-ECHEBARRÍA, P. M. (2002). *Vegetación e itinerarios botánicos en el Parque Natural del Moncayo (Zaragoza)*. Consejo de Protección de la Naturaleza. Zaragoza. Serie Difusión. 143 pp.
- URSÚA SESMA, C., & BÁSCONES CARRETERO, J. C. (2000). Las Bardenas Reales: perfil fitoecológico. *Actas del Congreso de Botánica en homenaje a Francisco Loscos*: 439-448. IET. Diputación Provincial de Teruel.
- VALLS, A. (2003). Revisió sintaxonòmica dels prats oromediterranis de l'ordre *Ononidetalia striatae* Br.-Bl. 1947. *Acta Bot. Barcinon.*, 48: 67-198.
- VANDEN BERGHEN, C. (1970). La végétation des falaises calcaires des Pyrénées Occidentales (France). *Bull. Centr. Études Rech. Sci. Biarritz*, 8(2): 291-303.
- VILLAR, L. (1972). Comunidades de *Ononis fruticosa* en la parte subcantábrica de Aragón y Navarra. *Pirineos*, 105: 61-68.
- VILLAR, L. (1977). Algunos aspectos sobre soliflucción, crioturbación, flora y vegetación. *Trabajos sobre el Neógeno Cuaternario*, 6: 299-308.
- VILLAR, L. (1979). Fitotopografía del macizo de Gratal – Monte Peiró (Prepirineo aragonés). *Collect. Bot. (Barcelona)*, 11: 387-407.
- VILLAR, L. (1982). La vegetación del Pirineo occidental: estudio de geobotánica ecológica. *Príncipe de Viana (Sup. Cien.)*, 2: 263-434.

- VILLAR, L.; ASEGINOLAZA, C.; GÓMEZ, D.; MONTSERRAT MARTÍ, G.; ROMO, À. M., & URIBE-ECHEBARRÍA, P. M. (1990). Los hayedos prepirenaicos aragoneses: fitosociología, fitotopografía y conservación. *Acta Bot. Malacitana*, 15: 283-295.
- VILLAR, L., & BENITO ALONSO, J. L. (1996). Riqueza de la vegetación del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido en relación con los hábitats de interés europeo. *Actas XII Bienal Real Sociedad Española Historia Natural*, vol. ext.: 459-464.
- VILLAR, L., & BENITO ALONSO, J. L. (2003). *Cirsio rufescentis-Aconitetum pyrenaicae (Adestylylion alliariae)*, nouvelle association du Parc National des Pyrénées (France). *Acta Bot. Barcinon.*, 49: 245-258. *Actas del VI Coloquio de Botánica Pirenaico-Cantábrica*.
- VILLAR, L.; ROMO, À. M., & PERDIGÓ, M. T. (1993). The beechwoods of the Central Prepyrenees (Spain). A preliminary survey for conservation. *Biol. Conserv.*, 66(2): 85-93.
- VILLAR, L.; SESÉ, J. A., & FERRÁNDEZ, J. V. (1997). Introducción a la vegetación. En *Atlas de la flora del Pirineo aragonés: XXI-XCI*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón e IEA. Huesca.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto ha contado durante 2005 y 2006 con el 50% de financiación FEDER, Objetivo 2 de Aragón, en la Unidad 2.4.4 Red Natura 2000. Al Instituto Pirenaico de Ecología – CSIC de Jaca, por su ayuda.

REFERENCIAS CITADAS

- BENITO ALONSO, J. L. (2005-2008). *Cartografía de los hábitats CORINE de Aragón a escala 1: 25 000. II. Lista de hábitats de Aragón (versión 4.04)*. Departamento de Medio Ambiente. Gobierno de Aragón. 86 pp. [jolube.wordpress.com/mha/].
- BENITO ALONSO, J. L., & CAJAL, M. L. (2008). Separateca Digital Pedro Montserrat. La obra completa del decano de la botánica española para el siglo XXI. *Bol. Asoc. Herb. Ibero-Macaronésicos*, 10: 22-23. [www.jolube.net/pub/].
- COMISIÓN EUROPEA (1991). *Corine Biotopes manual. Habitats of the European Community*. 426 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburgo. [jolube.wordpress.com/mha/].
- CONSEJO DE EUROPA (1992). Directiva 92/43/CEE, del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas* L 206: 7-50. [http://europa.eu/eurlex/es/consleg/pdf/1992/es_1992L0043_do_001.pdf].
- SANZ TRULLÉN, V., & BENITO ALONSO, J. L. (2007). Mapa de Hábitats de Aragón: la cartografía de hábitats CORINE como herramienta para la gestión de la biodiversidad y de los espacios naturales protegidos. *Boletín EUROPARC-España* 23: 36-41. [http://www.jolube.net/pub/Sanz&Benito2007_BoletinEUROPARC23.pdf].

EL CALENTAMIENTO URBANO: LA ISLA DE CALOR EN MONZÓN (HUESCA)

Víctor CASTILLO CASTÁN*

RESUMEN.— El estudio trata de demostrar la existencia de una anomalía térmica positiva en el entorno urbano de una ciudad pequeña como es Monzón (Huesca). Para ello se ha realizado un estudio estadístico de temperaturas entre una estación meteorológica urbana y otra rural, complementado con un estudio de campo con mediciones de temperatura utilizando el método de transectos. La base de datos térmicos generada se ha introducido en un Sistema de Información Geográfica a partir del cual hemos obtenido la distribución espacial y la intensidad de la isla de calor urbana. Con la aplicación del método objetivo de análisis por componentes principales se ha determinado la influencia que sobre este fenómeno tienen factores como la dirección y velocidad del viento y la nubosidad. Los resultados obtenidos reflejan una intensidad moderada de la isla de calor urbana y una configuración espacial altamente influenciada por la dirección y racha máxima de los vientos dominantes WNW-ESE.

ABSTRACT.— The study tries to prove the existence of a positive thermal anomaly in the urban setting of a small city like Monzón (Huesca). We have done a statistical study of temperatures taken from both an urban and rural weather station as well as a field study with temperature measurements using the Transects Method. The heat database generated has been introduced in a Geographic Information System from which we have obtained the spatial distribution and intensity of the urban heat island. The influence of factors, such as wind direction and speed, and cloud coverage,

* C/ Segura, 68. E-22400 MONZÓN (Huesca). vcasti@telefonica.net

on this phenomenon has been determined by applying the Principal Components Analysis Objective Method. The results reflect a moderate intensity of the urban heat island and a spatial configuration highly influenced by the direction and maximum gust of the prevailing winds WNW-ESE.

KEY WORDS. — Urban heat island, urban environment, principal components analysis, Monzón, Huesca (Spain).

INTRODUCCIÓN

De todas las modificaciones que ocasiona la urbanización de terrenos naturales sobre el clima, la de la temperatura es la que más evidencias muestra y menos dificultades tiene su estudio. La anomalía térmica positiva que se produce en el volumen de influencia urbano recibe el nombre de isla de calor (*the urban heat island*), denominación utilizada por primera vez por Manley en 1958.

Numerosos estudios se han realizado desde entonces en ciudades de todo el mundo, la mayoría de los cuales muestran un incremento de la isla

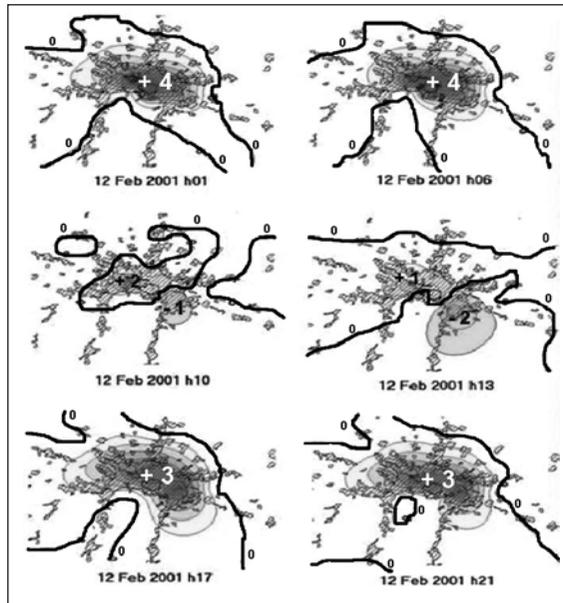


Fig. 1. Evolución diaria de la isla de calor en Bolonia el día 12-2-2001 en condiciones de cielo despejado. Las cifras son diferencias de temperatura urbana respecto a la rural. (BONAFÉ et alii, 2003).

de calor en invierno (LÓPEZ GÓMEZ et alii, 1993; MORENO, 1993; ALONSO GARCÍA et alii, 2004) y en algunos en verano (MORRIS et alii, 2001). Además, la intensidad máxima de la anomalía se produce en todos los casos durante la noche. La figura 1 representa la evolución de la isla de calor para la ciudad de Bolonia durante una jornada de invierno; en ella se observa una intensidad máxima entre la 1 y las 6 h de la mañana y la mínima a las 13 h, desapareciendo prácticamente el fenómeno (BONAFÈ et alii, 2003).

La distribución del fenómeno y su intensidad vienen determinadas por numerosos factores, tanto geográficos y meteorológicos como estructurales.

- El cielo cubierto de nubes inhibe la formación de la isla de calor o la minimiza (BONAFÈ et alii, 2003). La figura 2 muestra una significativa correlación entre el número de horas de cielo cubierto y la intensidad de la isla de calor.

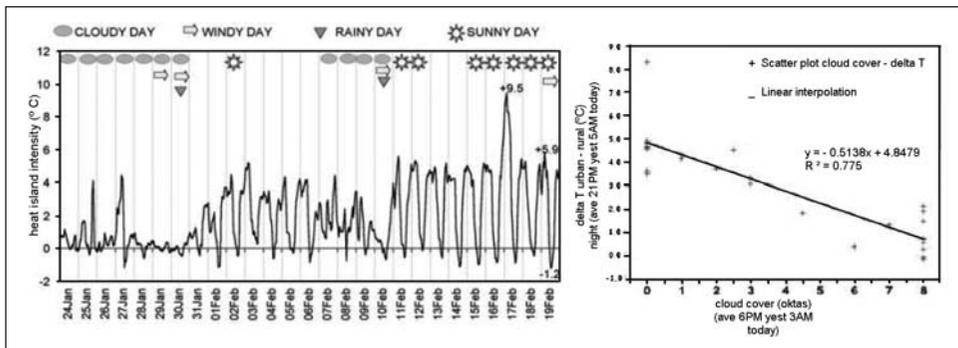


Fig. 2. Relación entre la nubosidad y la intensidad de la isla de calor en Bolonia (BONAFÈ et alii, 2003).

- El flujo de viento y las condiciones sinópticas modifican la intensidad y forma de la isla de calor sobre la urbe (LANDSBERG, 1981; OKE, 1970). Oke propone un umbral de velocidad del viento por encima del cual no se observa el fenómeno.

$U = 3,4 \cdot \log P - 11,6$, donde U es la velocidad del viento en m/s y P el número de habitantes de la población.

- Las zonas con vegetación actúan como isla de frescor dentro de la anomalía positiva (MORENO, 1994; OKE, 1995).

- La geometría urbana influye directamente en el calentamiento de la ciudad. Por un lado, el albedo bajo, causado por los materiales más absorbentes y las múltiples reflexiones producidas por paredes, tejados y suelos, atrapa la radiación solar de onda corta (Fig. 3). El mismo origen produce que por la noche la irradiación sea mucho menor debido al bajo factor de visión de cielo. A su vez, parte de la radiación de onda larga emitida a la atmósfera urbana, que está contaminada, es absorbida y devuelta al suelo (MORENO, 1999). Contribuciones todas ellas positivas para un aumento de la temperatura de la ciudad.

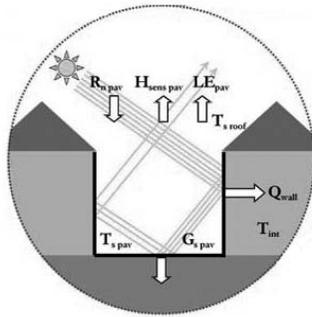


Fig. 3. Modelo de balance radiactivo en la ciudad (COST-Action 715).

- La emisión de calor antrópico, asociado al transporte de calor desde el interior de las viviendas, a los aparatos de aire acondicionado, debido al tráfico y a diversos procesos de combustión, contribuye nuevamente acentuando la anomalía positiva (FERNÁNDEZ et alii, 2004).
- El relieve dentro del casco urbano modifica la distribución de la isla de calor, formando vaguadas térmicas en las proximidades de los ríos (LÓPEZ GÓMEZ et alii, 1993; FERNÁNDEZ et alii, 1996).

La cantidad de estudios realizados sobre el clima urbano están fundamentados en la gran trascendencia que tiene sobre el confort y la salud de sus habitantes. No faltan trabajos donde se encuentran claras correlaciones entre el incremento de la mortalidad y el aumento de temperatura urbano, sobre todo en verano (ALDERSON, 1985). Cada día más, las administraciones locales tratan de realizar una gestión ambiental dirigida a controlar y mejorar la calidad ambiental de un entorno cada vez más modificado.

El estudio que se presenta a continuación analiza la influencia de la urbanización para el caso de una ciudad de tamaño medio en el campo de la temperatura, describiendo la configuración de la isla de calor, su localización dentro de la ciudad y los principales factores que influyen en ella.

Los métodos experimentales empleados para caracterizar el fenómeno son muy variados, en nuestro caso utilizaremos los dos más trabajados en la bibliografía: comparando registros de temperatura entre estaciones urbanas y rurales (FIGUEROLA y MAZZEO, 1998; MONTÁVEZ et alii, 2000...) y mediante el método de los transectos (LÓPEZ GÓMEZ y FERNÁNDEZ, 1984; MORENO, 1994; MONTÁVEZ, 2002).

ÁREA DE ESTUDIO

La ciudad de Monzón se encuentra situada al NE de la cubeta que forma el valle del Ebro, en el tramo medio del río Cinca, a 270 m de altitud, y rodeada de pequeños pero abruptos tozales que apenas superan los 340 m. Por el centro de la población atraviesa el río Sosa, un pequeño afluente de caudal muy irregular que constituye la parte más baja del casco urbano. Un casco urbano estructurado en tres zonas bien diferenciadas: el casco viejo, con calles muy estrechas, donde el efecto cañón es muy marcado; la zona centro, que corresponde al ensanche con una estructura urbana más variada y heterogénea, y la periferia, con unas características intermedias entre las dos anteriores.

Su población supera, a día de hoy, los 16 600 habitantes y su principal actividad es la industria química, con importantes empresas, todas ellas ubicadas en dos polígonos industriales al NW del casco urbano.

El clima de Monzón viene marcado por la singularidad en la configuración orográfica del valle del Ebro que conforma una de las principales unidades morfoclimáticas de la Península Ibérica. Su situación interior y la barrera de montañas que rodea la cuenca, al norte los Pirineos y los Montes Vascos, en el sur el Sistema Ibérico, al este la Cordillera Prelitoral Catalana, formando una fosa triangular, condicionan en gran medida la interacción con las masas de aire húmedas procedentes de los mares que rodean la Península Ibérica. La temperatura media anual alcanza los 14,6 °C y la precipitación ronda los 460 mm. El carácter continental impone veranos cálidos e inviernos

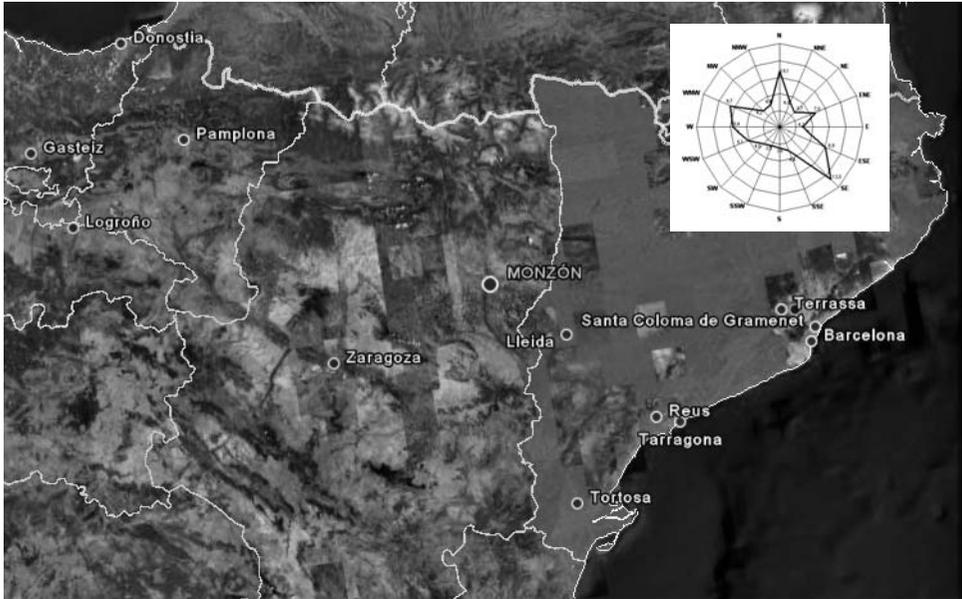


Fig. 4. Situación geográfica de Monzón y frecuencia de vientos.

fríos y largos, quedando los equinoccios como periodos cortos de transición donde se alcanzan los máximos de precipitación, siendo más marcado en el otoño, mostrando así cierta afinidad con el clima mediterráneo catalán (CAPEL MOLINA, 2000). Tan solo cuando el régimen tormentoso estival es eficiente se producen máximos en dicha estación. El viento, condicionado también por la orientación del valle del Ebro, muestra máximos en la dirección WNW-ENE, aunque a diferencia de otras zonas de la depresión, la frecuencia máxima se obtiene en el segundo cuadrante (Fig. 4).

COMPARATIVA ENTRE EL ENTORNO URBANO Y EL RURAL

Metodología y base de datos

En primer lugar, se realizará una aproximación teórica mediante el análisis estadístico de datos correspondientes a una estación meteorológica considerada urbana y otra rural. La estación denominada como urbana se ubica a 268 m de altitud en el barrio de la Alegría, una zona de casas bajas y calles amplias al sur de Monzón y prácticamente en la periferia del casco



Fig. 5. Situación de las tres estaciones meteorológicas objeto de estudio.
Con línea más gruesa, el contorno del casco urbano.

urbano. Se trata de una estación automática Davis tipo Monitor II con sensor electrónico de temperatura colocado en abrigo meteorológico a 2 m del suelo. La estación denominada como rural es la estación automática de Alfántega de la red agroclimática, situada 10 km al sur de Monzón, rodeada de cultivos y a 250 m de altitud (Fig. 5).

La serie temporal común de que se dispone es muy pequeña, tres años, correspondientes al periodo 2004-2007, insuficiente para cualquier tratamiento estadístico con cierto rigor, pero suficiente para determinar ciertas condiciones del entorno y tendencias.

Resultados de la comparativa entre la estación urbana y la estación rural

Para realizar el estudio se analizaron 1011 pares de datos diarios, tanto de mínimas como de máximas entre la estación urbana y la rural 2 de Alfántega,

para el periodo comprendido entre 2004-2006. Para garantizar la homogeneidad de los datos entre ambas estaciones se obtuvo el coeficiente de determinación para las temperaturas máximas y mínimas diarias con muy buenos resultados: 0,996 y 0,976, respectivamente.

En el estudio de las temperaturas mínimas se aprecian valores de UHI promedio (intensidad de isla de calor urbano promedio) positivos durante todos los meses analizados y aunque existe alta variabilidad en los resultados de un año a otro (Fig. 6), al obtener una curva de tendencia polinómica apreciamos cierta homogeneidad entre años, con máximos comunes durante la primavera y el otoño, manteniéndose elevada en verano y con un mínimo marcado en invierno.

Los valores promedio mensuales oscilan entre 0,7 y 2,5 °C de anomalía positiva en la estación urbana y la evolución anual es bastante regular con unas diferencias en torno a 1,5 °C con el entorno rural. El promedio de UHI de los tres años es de 1,53 °C y las intensidades de isla de calor máximas diarias que se han observado llegan a ser en alguna ocasión entre

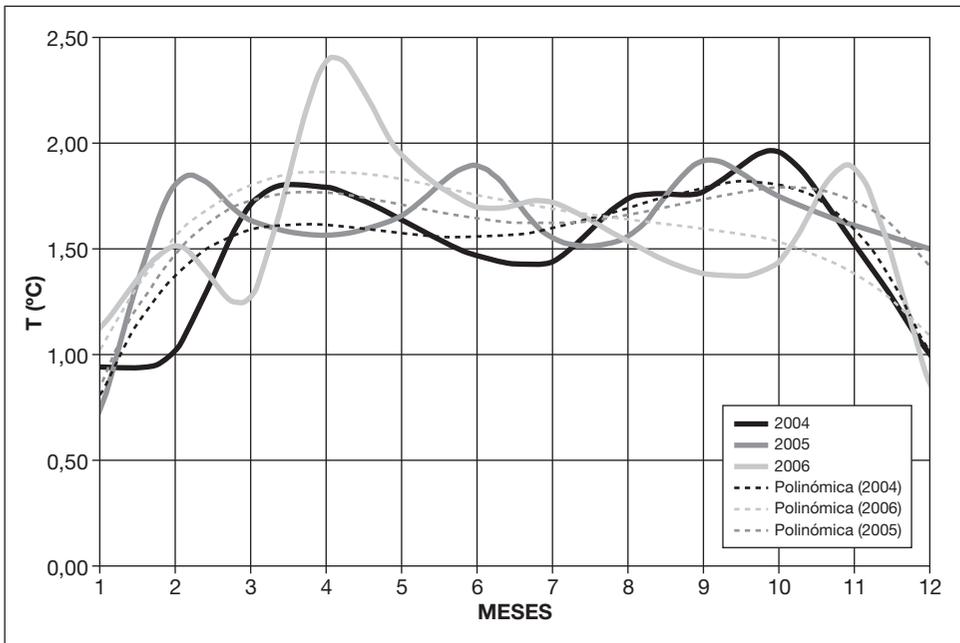


Fig. 6. Representación gráfica del promedio mensual de UHI de las temperaturas mínimas.

moderada y fuerte, entre 4 ° y 5 °C, alcanzando menor intensidad en sentido contrario como era de esperar (Tabla I).

El análisis estadístico estacional de la UHI promedio refleja lo que se intuye en la figura 6, el máximo se produce en primavera (marzo, abril y mayo) con un promedio de 1,73 °C, siendo ligeramente menor durante el verano y el otoño, con valores por encima de 1,6°. El invierno marca el mínimo con 1,21 °C (Tabla II). Estos valores están de acuerdo, tanto en distribución como en intensidad, con estudios hechos sobre ciudades medianas como Cáceres (LÓPEZ GÓMEZ et alii, 1993) o Salamanca (ALONSO et alii, 2004).

El estudio de la intensidad de la isla de calor durante el día se hizo con las temperaturas máximas diarias de ambas estaciones, volviendo a aparecer el fenómeno ya mostrado en el anterior apartado, una isla de frescor

Tabla I. Valores medios y extremos anuales de la UHI de temperaturas máximas y mínimas.

<i>Evolución anual</i>		2004	2005	2006	Media
UHI T MÁX. (°C)	Media	-0,15	0,03	0,17	0,02
	Máx.	2,12	3,12	2,42	2,55
	Mín.	-2,60	-2,34	-2,90	-2,61
UHI T MÍN. (°C)	Media	1,50	1,59	1,51	1,53
	Máx.	4,98	5,69	4,44	5,04
	Mín.	-1,59	-2,17	-1,89	-1,88

Tabla II. Valores medios y extremos de la UHI de temperaturas máximas y mínimas para cada estación.

<i>Evolución estacional</i>		<i>Invierno</i>	<i>Primavera</i>	<i>Verano</i>	<i>Otoño</i>
UHI T MÁX. (°C)	Media	0,35	-0,01	-0,37	0,05
	Máx.	3,12	1,88	1,21	1,60
	Mín.	-2,90	-1,70	-2,41	-2,60
UHI T MÍN. (°C)	Media	1,21	1,73	1,62	1,69
	Máx.	3,66	5,69	4,44	4,98
	Mín.	-1,61	-2,17	-1,89	-1,03

durante la mayor parte del año en el casco urbano o al menos en la periferia. La intensidad del fenómeno fluctúa según los años (Fig. 7) como ya ocurría con la temperatura mínima, pero de una forma mucho más regular. El análisis de tendencia mediante una polinómica de 4º orden revela un patrón de comportamiento casi parabólico con un máximo positivo en invierno (isla de calor urbana) de entre 0,2 y 0,7 °C y un mínimo negativo (isla de frescor urbana) en verano de hasta -1,3 °C.

La media anual oscila muy poco, una o dos décimas en torno al cero, con máximas intensidades diarias de entre 2 y 3 °C tanto positivas como negativas (Tabla I). Por estaciones, el invierno marca la máxima anomalía positiva con 0,35 °C más de media de las máximas en la ciudad y el mínimo en verano con una media, en este caso, mayor en la estación rural de 0,37 °C.

Estos resultados vuelven a coincidir con valores obtenidos para ciudades como Cáceres, Salamanca, Logroño o incluso Barcelona (LÓPEZ GÓMEZ et álii, 1993), donde la UHI media de las máximas adopta el máximo en invierno y el mínimo en verano, pero en ningún caso por encima de 1 °C absoluto.

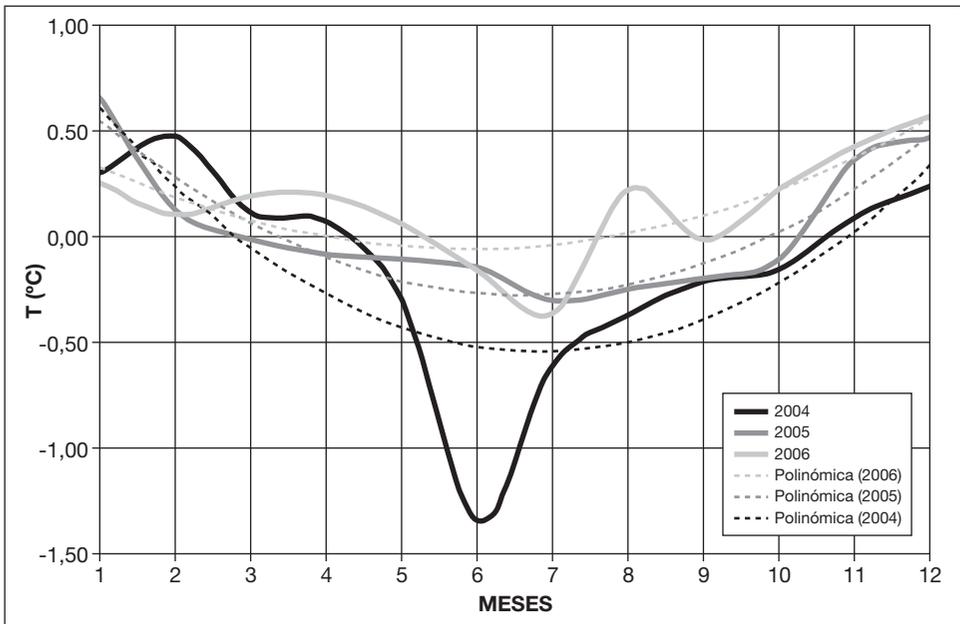


Fig. 7. Representación gráfica del promedio mensual de UHI de las temperaturas máximas.

La amplitud térmica calculada con las medias mensuales resulta inferior en la ciudad respecto al entorno rural. Analizando conjuntamente las curvas de UHI para máximas y mínimas, observamos que para Monzón el diferencial de amplitud térmica con respecto a la estación rural es máximo en verano con $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y mínimo en invierno con $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Fig. 8A). Esto es debido principalmente a la elevada capacidad calorífica de los materiales urbanos sometidos, sobre todo en verano, a elevadas dosis de radiación solar.

Si comparamos con otras ciudades españolas, vemos que las ciudades del interior parecen comportarse de diferente manera que las costeras en lo que se refiere a la UHI de las temperaturas máximas. En estas la máxima intensidad de isla de calor para las mínimas se establece en invierno, dando el mínimo durante el verano; sin embargo, la evolución de la UHI de las máximas es bastante común en todas las ciudades (Fig. 8). LÓPEZ GÓMEZ (1993) argumenta tal fenómeno mediante la asociación de las máximas intensidades de isla de calor con la entrada de flujos del norte, más recurrentes en el periodo invernal.

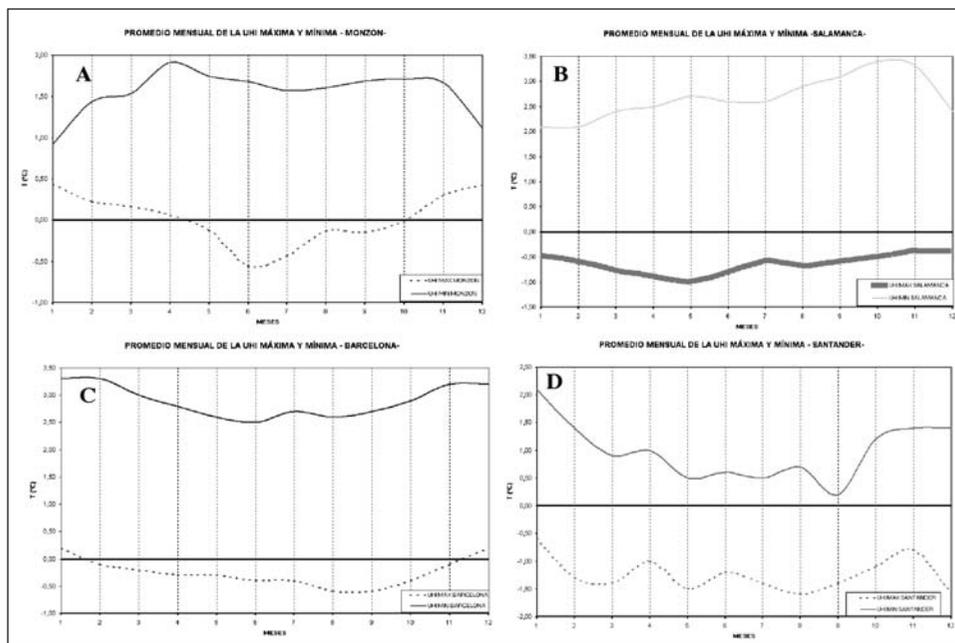


Fig. 8. Promedio mensual de la UHI de las temperaturas máximas y mínimas para diversas ciudades españolas. (A) Monzón, (B) Salamanca, (C) Barcelona, (D) Santander. Elaboración propia (fuente: LÓPEZ GÓMEZ et alii, 1993; ALONSO et alii, 2004).

Tabla III. Cuantiles de la UHI mínima distribuidos por meses.

Meses	Percentiles						
	5	10	25	50	75	90	95
1	-,483	-,330	,062	,917	1,790	2,098	2,420
2	-,454	-,053	,697	1,631	2,246	2,725	2,947
3	-,824	-,245	,454	1,698	2,453	3,117	3,309
4	,102	,391	1,008	1,955	2,594	3,203	3,590
5	-,058	,494	1,080	1,760	2,483	3,092	3,435
6	,463	,836	1,295	1,610	2,085	2,532	3,645
7	-,121	,345	,953	1,700	2,148	2,761	3,146
8	-,056	,538	1,010	1,740	2,050	2,620	3,190
9	-,953	-,304	,545	1,565	2,500	3,448	5,251
10	,182	,592	,856	1,705	2,173	2,857	3,406
11	-,169	,313	,942	1,589	2,132	3,086	3,730
12	-,717	-,349	,440	1,219	1,758	2,476	2,715

Profundizando más en el análisis estadístico de las diferencias entre las mínimas de la estación urbana y la rural (UHI mín.), realizamos un cálculo de cuantiles o valores de probabilidad de ocurrencia por meses (Tabla III). De los resultados obtenidos destacan, por un lado, que en los meses de abril, junio y octubre, más del 95% de los días se produce el fenómeno de isla de calor y en más del 75% de cualquier mes del año. Septiembre es el mes con las máximas intensidades de isla de calor, en más del 5% de los días la UHI se alcanzan los 5 °C, curiosamente contrasta con el hecho de que es uno de los meses en que menos días de isla de calor se producen. En general, salvo en enero y diciembre, en la mitad de los días existe isla de calor con una intensidad de más de 1,5 °C y en más del 25% se alcanzan los 2 °C.

MÉTODO DE LOS TRANSECTOS

Metodología

Con este método, utilizado en muchas ciudades españolas (LÓPEZ GÓMEZ et alii, 1993; MORENO, 1994; VICENTE et alii, 2005), se pretende cuantificar por zonas la intensidad de la anomalía térmica en el núcleo urbano de Monzón. Para ello se va a utilizar un vehículo con un sensor de temperatura colocado en su antena, aproximadamente a 1,50 m del suelo.

El sensor electrónico es una PT100 de baja inercia con conexión tipo K. La toma de datos se realiza de forma continua a una velocidad regular de $30\text{-}40\text{ km/h}^{-1}$ y con ayuda de una grabadora se irán recogiendo los datos en los puntos estimados.

Los transectos serán tres, abarcando la totalidad de barrios o zonas que conforman Monzón. La hora de comienzo del primer transecto será, aproximadamente, las 22.30 h, hora local. En principio, cada día se realizarán los tres transectos, ya que son de corta duración y salvo fuertes irradiaciones o cambios imprevistos en la meteorología no habrá problemas en la asimilación de los datos.

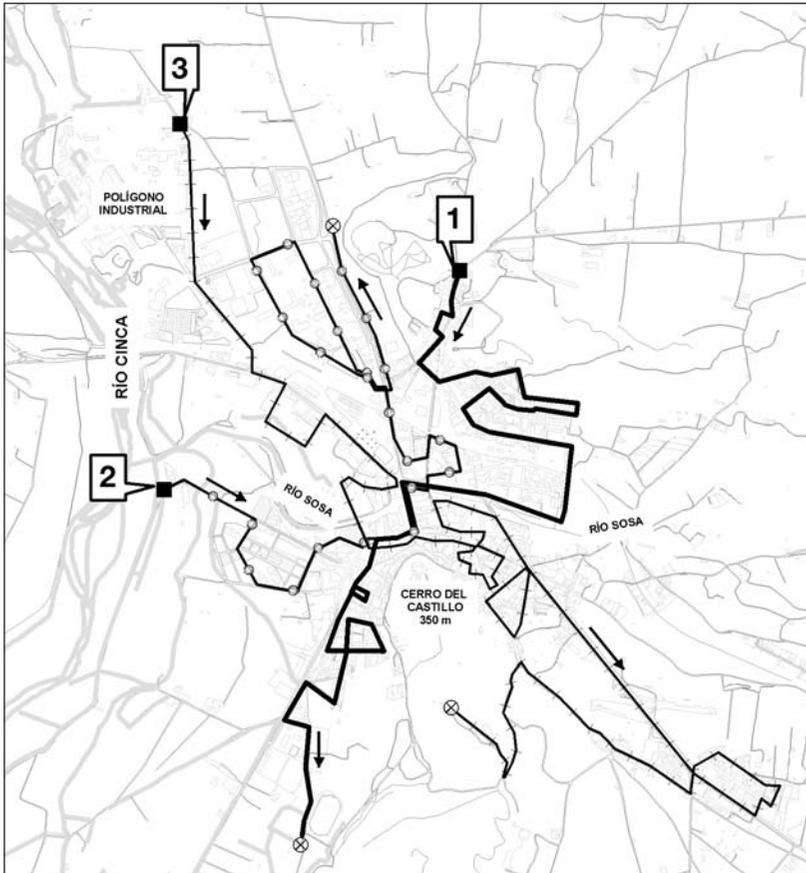


Fig. 9. Recorrido de los tres transectos (1, 2, 3) por las calles de Monzón.

El estudio comienza con un recorrido de prueba a velocidad baja por todos los puntos representativos y, sobre todo, los que a priori son susceptibles de sufrir alguna anomalía térmica. El recorrido se realiza en algo más de hora y media y se constata la validez de todos los datos con un punto de control en lo que se denominan las *Cuatro Esquinas*, haciendo pasar el vehículo dos veces por ese punto.

Una vez elegidos los puntos de medida se diseñan los transectos, que quedan según el plano de la figura 9. El primer transecto atraviesa la población de norte a sur, con un recorrido total de 7,7 km, que se realiza en 20 minutos aproximadamente (Tabla IV). La primera parte transcurre por la parte alta del norte del casco urbano, para luego bajar al cauce del río Sosa y después de atravesarlo acabar en la ladera este del río Cinca, con tendencia descendente. El segundo transecto comienza en el punto más bajo de todo el recorrido, a orillas del Cinca, y realiza un recorrido corto de W a NW, pasando por el centro, de algo menos de 6 km, que se desarrolla

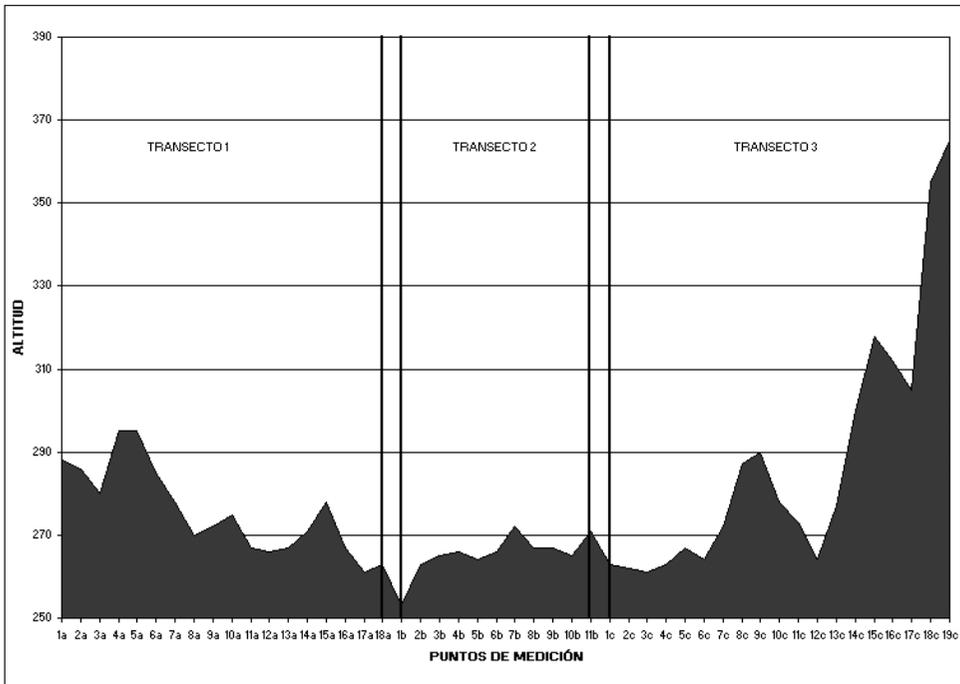


Fig. 10. Perfil de los tres transectos colocados uno a continuación del otro, tal y como se desarrollan.

Tabla IV. Características de los transectos
(nombres de los puntos de medición, altitud, distancia relativa y coordenadas UTM).

Transecto 1					
<i>Núm.</i>	<i>Nombre</i>	<i>Alt.</i>	<i>D</i>	<i>x</i>	<i>y</i>
1a	Butano	288	0	765 011	4 646 187
2a	Diego Velázquez	286	400	764 910	4 645 937
3a	Calvario cruce Inmaculada	280	800	764 913	4 645 684
4a	Almería (final)	295	1150	765 242	4 645 754
5a	NE Palomar	295	1600	765 500	4 645 600
6a	Málaga con Jaén	285	2130	765 103	4 645 643
7a	Final de Huesca	278	2660	765 300	4 645 438
8a	Túnel vía Palomar	270	2900	765 472	4 645 307
9a	Kiosco con Jaime	272	3440	765 133	4 645 191
10a	Estación de Renfe	275	3860	765 325	4 645 335
11a	Nudo carretera de Fonz	267	4760	764 786	4 645 262
12a	Cuatro Esquinas	266	4960	764 806	4 645 064
13a	Casa de la Cultura	267	5380	764 629	4 644 928
14a	Plaza de San Juan	271	5680	764 604	4 644 768
15a	Fuente del Saso	278	6180	764 659	4 644 585
16a	Segura (final)	267	6700	764 475	4 644 326
17a	Deporte	261	7050	764 275	4 644 228
18a	Pistas de atletismo	263	7720	764 340	4 643 724
Transecto 2					
<i>Núm.</i>	<i>Nombre</i>	<i>Alt.</i>	<i>D</i>	<i>x</i>	<i>y</i>
1b	Matadero	253	0	763 771	4 645 238
2b	Cinca	263	660	764 102	4 644 888
3b	Comienzo Vero	265	1060	764 307	4 644 795
4b	Avenida del Pueyo con DIA	266	1600	764 589	4 644 977
5b	Puente Nuevo	264	1900	764 581	4 645 066
6b	Cuatro Esquinas	266	2160	764 809	4 645 068
7b	Eroles con Muret	272	2600	765 019	4 645 319
8b	Templarios	267	3000	764 832	4 645 359
9b	Cruce Fonz – La Almunia	267	3320	764 713	4 645 585
10b	Centro polígono de Las Paúles	265	4670	764 264	4 645 939
11b	Entrada del polígono	271	5850	764 457	4 646 314

Transecto 3					
<i>Núm.</i>	<i>Nombre</i>	<i>Alt.</i>	<i>D</i>	<i>x</i>	<i>y</i>
1c	Entrada Montecinca	263	0	763 341	4 646 849
2c	Estación INM	262	600	763 867	4 646 123
3c	Paso a nivel	261	1120	764 118	4 645 813
4c	Final de San Jorge	263	1720	764 297	4 645 435
5c	Conservatorio	267	2170	764 756	4 645 253
6c	Puente Nuevo	264	2600	764 619	4 645 010
7c	Ayuntamiento	272	2980	764 862	4 645 014
8c	Catedral	287	3330	765 016	4 644 935
9c	Santo Domingo	290	3600	765 166	4 644 824
10c	Sancho Ramírez (abajo)	278	3720	765 201	4 644 923
11c	Transc. con Santa Bárbara	273	3870	765 115	4 645 034
12c	El Malecón, Joaquín Costa	264	4400	765 080	4 645 135
13c	Comienzo de Cabañera	277	4820	765 295	4 644 890
14c	Balsa con Tejerías	300	5270	765 249	4 644 589
15c	Bellavista (Carrasca)	318	7300	766 381	4 643 910
16c	Nudo carretera de Binaced	312	7850	766 034	4 644 027
17c	Cruce subida campo de tiro	305	8930	765 285	4 644 465
18c	Collado	355	9530	765 209	4 643 984
19c	Campo de tiro	365	9880	764 995	4 644 264

en 10 minutos. El tercero y último comienza al NW del casco urbano y del polígono industrial, detrás de la fundición, y termina al SE en el campo de tiro sobre el cerro del castillo. Su perfil es el más accidentado, ya que comienza en la parte baja, cercana al río Cinca, y después de subir y bajar por la ladera de la margen izquierda del río Sosa en dos ocasiones se vuelve a subir hasta el cerro del castillo, punto más alto de todo el recorrido (Fig. 10). Este último transecto es el más largo, con casi 10 km, realizados en algo más de 20 minutos. En total, una hora de recorrido para 28 km y 47 puntos de medición.

Los datos base para el trabajo proceden, por un lado, de un estudio realizado en 2005 con nueve días de observación aprovechables, complementado con otros diez días en 2007.

Hipótesis de partida

Las hipótesis de partida nos van a marcar unos objetivos a la hora de analizar los resultados de las mediciones.

- El clima continental de Monzón debe favorecer el fenómeno de “isla de calor”.
- Según OKE y HANELL (1970), la influencia del tamaño de Monzón, medido por su población, producirá una intensidad máxima de “isla de calor” de 4,3°.
- En los días con velocidad del viento superior a 3 m/s no se debe apreciar anomalía térmica, según Oke y Hanell (1970).
- En el caso de que se aprecie el fenómeno con viento, el efecto de calentamiento urbano se debe trasladar en la dirección de aquel.
- Con viento del cuarto cuadrante se debe de notar cierto calentamiento en el polígono y en el norte de la ciudad debido al calor desprendido por la fundición. Sobre todo en situaciones de anticiclón.
- La intensidad máxima del fenómeno se producirá con situación anticiclónica, sin viento y sin nubes o con muy pocas.
- Las zonas con mayor efecto térmico deben ser las afectadas por el mayor tráfico (Santa Bárbara y carretera nacional 240) y el casco antiguo por tener las calles muy estrechas.
- Los domingos se debe minimizar el efecto de “isla de calor” por disminuir en gran medida la actividad humana.

Control de calidad y tratamiento de datos

Como el muestreo de temperaturas no se realiza simultáneamente, la medición está sometida a una variación temporal ajena a la anomalía espacial motivada por el fenómeno de isla de calor. En este caso, al realizar la observación en un periodo en el que la temperatura ambiental desciende rápidamente, el decremento de esta, que en ocasiones alcanza los 3 °C (Tabla VII), falsea las mediciones. Con el objeto de hacer comparables las temperaturas recogidas se suelen corregir reduciéndolas a la hora central del recorrido, por medio de un ajuste lineal a partir de la recta de tendencia

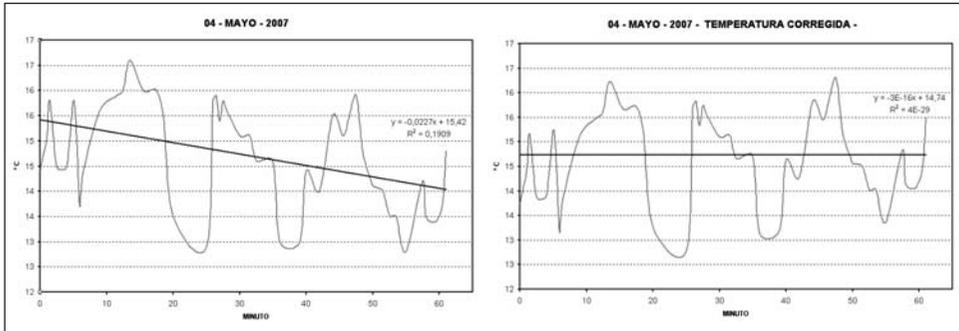


Fig. 11. Corrección de temperatura respecto a la tendencia por enfriamiento nocturno.

respecto del tiempo y sus valores residuales (VICENTE et alii, 2005). En los 19 días de observaciones hubo que hacer dicha corrección; en la figura 11 se muestra un ejemplo del antes y después de la corrección, donde se observa cómo se anula la tendencia, pero no se pierde información de las anomalías espaciales encontradas.

Si la corrección anterior era necesaria para poder comparar simultáneamente los datos de cada observación, también es imprescindible hacer los datos comparables entre todas las observaciones. Por ello, se realiza la estandarización de los datos de cada día de acuerdo con la media y con la desviación estándar de la serie diaria. Para asegurarnos de que las series se ajustan a una distribución normal, realizamos el test de Kolmogorov-Smirnov, determinando que las 19 series de datos se podían ajustar a dicha distribución (Tabla V). Este procedimiento de normalización no afecta a la homogeneidad de los datos y permite su comparabilidad espacial.

Una vez que tenemos los datos de temperatura normalizados, ya se pueden introducir los datos en un SIG con garantías de una buena interpretación espacial, si bien se pierde información acerca de la intensidad absoluta del fenómeno. Como los datos introducidos son discretos y en coordenadas puntuales e irregularmente repartidas, necesitamos obtener un mapa espacial de datos continuo para poder interpretar los resultados, y esto se consigue por medio de la interpolación. El método más fiable usado en estos casos es el Kriging Ordinario (MONTÁVEZ et alii, 2000) con ajuste de semivarianzas por medio de modelos de semivariogramas esféricos. Los 19 mapas así obtenidos se validan posteriormente comparando los

Tabla V. Prueba de Kolmogorov-Smirnov. Los valores de sig. > 0,05 indican el ajuste a una distribución normal teórica.

<i>Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra</i>																																									
N	V1		V2		V3		V4		V5		V6		V7		V8		V9		V10		V11		V12		V13		V14		V15		V16		V17		V18		V19				
		50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50			
Parámetros normales (a, b)	Media	12,28	12,01	11,02	11,83	7,15	13,36	11,61	10,95	12,32	16,40	14,49	14,80	14,67	12,91	15,42	21,35	17,98	21,90	21,89																					
	Des. típica	0,437	0,458	0,824	0,601	0,404	0,487	0,574	0,577	1,313	1,008	0,744	0,910	1,475	0,482	0,545	0,805	0,608	0,745	1,403																					
Diferencias más extremas	Absoluta	0,140	0,107	0,167	0,159	0,121	0,096	0,115	0,160	0,079	0,106	0,139	0,130	0,142	0,090	0,084	0,102	0,141	0,129	0,098																					
	Positiva	0,067	0,090	0,124	0,087	0,091	0,081	0,067	0,089	0,064	0,094	0,061	0,062	0,095	0,048	0,061	0,076	0,099	0,070	0,053																					
	Negativa	-0,140	-0,107	-0,167	-0,159	-0,121	-0,096	-0,115	-0,160	-0,079	-0,106	-0,139	-0,130	-0,142	-0,090	-0,084	-0,102	-0,141	-0,129	-0,098																					
Z de Kolmogorov-Smirnov	0,990	0,758	1,182	1,126	0,853	0,680	0,811	1,130	0,556	0,751	0,984	0,919	1,006	0,635	0,592	0,720	0,998	0,913	0,694																						
Sig. asíntot. (bilateral)	0,281	0,613	0,122	0,159	0,460	0,743	0,526	0,156	0,917	0,626	0,287	0,367	0,264	0,815	0,875	0,677	0,272	0,375	0,720																						
Sig. exacta (bilateral)	0,256	0,576	0,109	0,142	0,427	0,707	0,490	0,139	0,893	0,589	0,262	0,338	0,240	0,781	0,846	0,640	0,247	0,345	0,684																						

Tabla VI. Estadísticos de error calculados para validar los resultados de la interpolación por Kriging en los 19 mapas.

Estadísticos	Media																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
R ²	0,90	0,87	0,90	0,77	0,94	0,91	0,94	0,96	0,88	0,87	0,94	0,96	0,73	0,97	0,97	0,96	0,97	0,94	0,98	0,915
R	0,95	0,93	0,95	0,88	0,97	0,96	0,97	0,98	0,94	0,93	0,97	0,98	0,85	0,98	0,99	0,98	0,98	0,97	0,99	0,956
MBE	0,004	0,006	-0,030	0,014	0,044	-0,036	-0,030	-0,027	0,030	-0,015	0,006	0,024	-0,003	-0,023	-0,017	0,019	-0,041	-0,021	0,029	-0,003
RMSE	0,34	0,41	0,32	0,55	0,26	0,32	0,26	0,19	0,36	0,42	0,26	0,22	0,60	0,18	0,16	0,22	0,19	0,28	0,15	0,300
% desv. est.	77,4%	93,7%	73,7%	126,4%	59,1%	73,0%	60,2%	43,5%	81,6%	96,3%	59,1%	50,5%	136,4%	41,4%	37,4%	50,2%	43,5%	63,2%	34,7%	68,5%
Índice D (Willmot's)	0,96	0,94	0,97	0,87	0,98	0,97	0,98	0,99	0,96	0,93	0,98	0,99	0,83	0,99	0,99	0,98	0,99	0,98	0,99	0,96

valores calculados en la interpolación para las coordenadas correspondientes a los puntos de medición con el valor experimental. Este método denominado de validación cruzada se usa para calcular unos errores estadísticos indicativos de la bondad de la interpolación por Kriging Ordinario.

Los resultados obtenidos con estos estadísticos muestran en la mayoría de los casos un buen ajuste de la interpolación a los resultados originales (Tabla VI). Los coeficientes de determinación se encuentran entre 0,87 y 0,98 en 17 de los 19 casos, al igual que el índice D que supera el valor de 0,95 en casi todos los casos. El resto de estadísticos muestran también una buena estimación de datos por parte del método Kriging, por lo que se pueden dar por buenos los mapas así obtenidos.

Análisis subjetivo del estudio de campo

Para poder establecer una clasificación con cierto rigor y consistencia hemos extraído las principales características de cada día de observación que, a priori, pueden influir en la forma e intensidad del fenómeno de isla de calor urbana y que además nos permitirá comprobar el nivel de acierto en cuanto a las hipótesis de partida.

Los parámetros recogidos de las observaciones se resumen en la tabla VII y son la intensidad de isla de calor, ΔT_{u-r} , obtenida a partir de la temperatura máxima y mínima, sin normalizar, la dirección del viento y la racha máxima, el descenso de la temperatura ambiental durante el proceso de medición, la situación sinóptica y el día de la semana de cada observación.

Lo más característico que se desprende del resumen es la clara correlación entre la intensidad de la isla de calor y la racha máxima de viento observada durante la medición. Cuando el viento no supera el umbral de 10 km/h⁻¹ la intensidad de la anomalía térmica en el casco urbano supera en todos los casos los 3 °C (celdas sombreadas). Por otra parte, no se observa una clara influencia sinóptica en el fenómeno, ya que los días de mayor intensidad en la anomalía la situación era de bajas presiones y con flujo moderado en altura. Este hecho puede explicarse si tenemos en cuenta que Monzón se encuentra en una situación geográfica en la que el efecto dipolo producido por las situaciones de flujo perpendicular al Pirineo modifican sustancialmente las condiciones meteorológicas locales de esta zona (VILA-

CLARA, 2003). En particular, durante las situaciones de norte, es raro que sople viento de NW moderado durante más de un día seguido, aunque la situación sinóptica perdure durante varios días, en esta zona se producen calmas o vientos flojos de dirección distinta a la sinóptica (Fig. 12).

Tabla VII. Resumen de los 19 días de observación.

		ΔT_{u-r}	Situación sinóptica	Viento		Cambio de temp. ambiental, en punto fijo (°C)
				Dir.	Racha máx. (km/h)	
L	04-04-05	2,1	Dorsal débil	SE	15	-0,5
X	06-04-05	2,5	Anticiclón	SE	18	-0,5
L	11-04-05	3,9	Borrasca en Córcega	VAR	8	-2,2
X	13-04-05	2,5	Baja relativa	S	12	-0,5
V	15-04-05	1,8	Paso de frente frío	NW	40	-0,7
D	17-04-05	2,1	Borrasca en el golfo de Génova	WNW	20	-0,2
L	18-04-05	2,3	Situación prefrontal	WNW	16	-1,0
M	19-04-05	2,4	Bajas presiones	WNW	14	-0,5
L	25-04-05	7,2	Paso de frente frío	WNW	2	-3,0
J	26-04-07	5,5	Baja relativa en la P. Ibérica	SE	9	-1,0
D	29-04-07	3,1	Baja relativa en la P. Ibérica	SE	6	-0,3
V	04-05-07	3,5	Borrasca en el golfo de Génova	SE	7	-1,6
S	05-05-07	5,8	Borrasca en el golfo de Génova	NW	4	-2,2
L	14-05-07	2,3	Borrasca en el golfo de Génova	WNW	20	-0,7
M	15-05-07	2,4	Anticiclón	WNW	11	-1,0
X	30-05-07	3,3	Baja relativa en NE	NW	4	-0,6
J	31-05-07	2,5	Cuña anticiclónica	NW	20	-1,2
D	03-06-07	4,1	Baja relativa en NE	SW-NW	6	-2,4
L	11-06-07	5,8	Cuña anticiclónica	SW-W	4	-1,5
	Media	3,4				
	Máxima	7,2				
	Mínima	1,8				

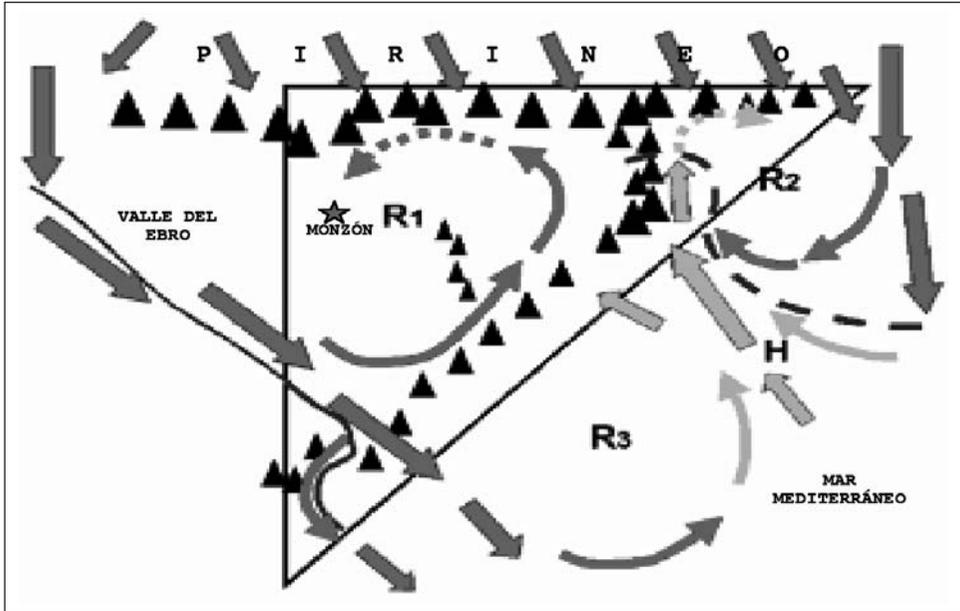


Fig. 12. Modelo conceptual de viento en superficie bajo una situación de norte sobre el noreste peninsular (VILA CLARA, 2003).

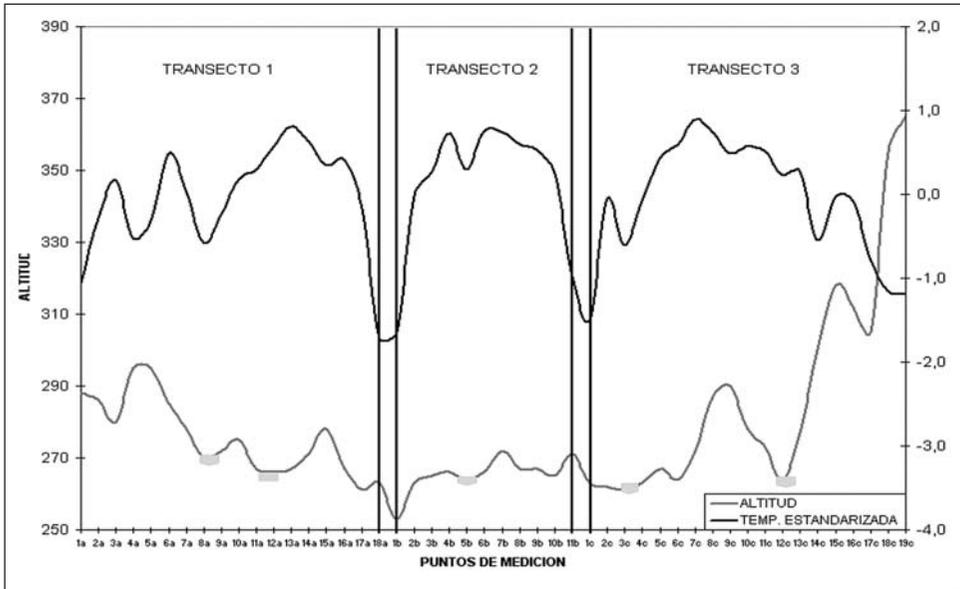


Fig. 13. Perfil promedio de temperatura estandarizada comparado con el perfil orográfico de los tres transectos.

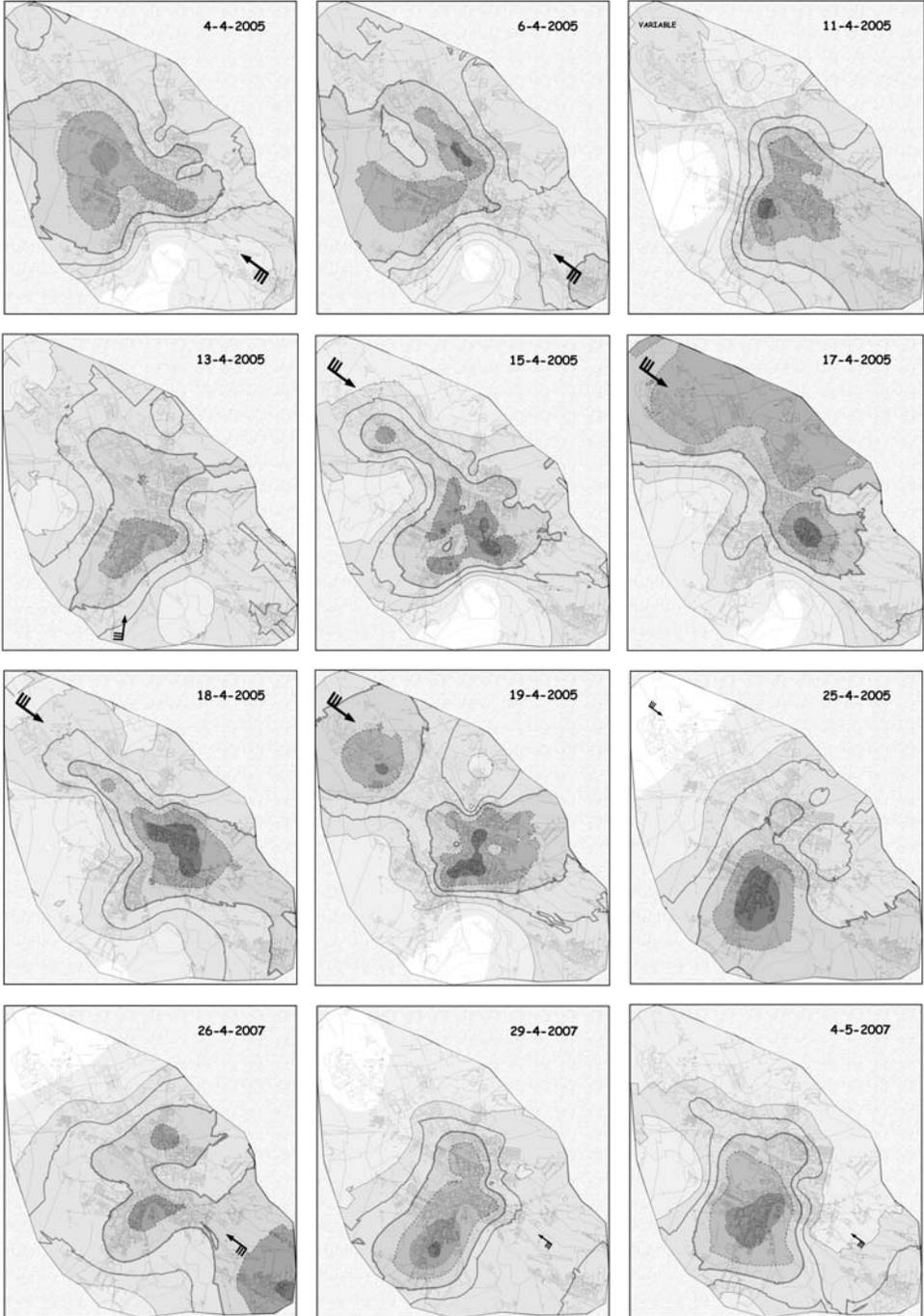
En cuanto al análisis espacial del fenómeno, en primer lugar relacionamos su intensidad con la altitud y lugares que atraviesan durante el recorrido. El perfil promedio de temperaturas estandarizadas junto con el perfil orográfico de la figura 13 indican claramente anomalías térmicas positivas en todos los puntos del recorrido de menor altitud y que están urbanizados, y anomalías negativas o vaguadas en las zonas periféricas de comienzo y fin de transecto, en las zonas cercanas a ríos y en zonas elevadas poco o nada urbanizadas.

La distribución espacial de los datos de cada día de observación representada sobre el plano de Monzón mediante un SIG nos depara una gran variedad de estructuras de isla de calor, función de los múltiples parámetros que influyen en su formación y mantenimiento, sin embargo, asumiendo que estos exceden de los que podemos analizar en el presente estudio, podemos agrupar subjetivamente una cierta cantidad de mapas con estructuras de isla de calor similares y asociarlas a determinadas características meteorológicas, como ya hemos hecho anteriormente con los datos numéricos.

En los planos de la figura 14 se presenta la información continua de temperatura estandarizada, resultado de la interpolación hecha para cada día. Los 19 gráficos mostrados llevan asociada una flecha que indica la dirección del viento o vientos dominantes y en el tamaño va implícita la magnitud de la racha máxima obtenida en el transcurso de la observación.

En un análisis cualitativo de los mapas, destacan, cuando menos, dos hechos fundamentales: *a)* la forma de la anomalía térmica cálida se alarga en dirección del viento principal, si este es de cierta magnitud, tanto si es de WNW-NW como si es de SE; *b)* en situaciones de calma o viento muy flojo la forma de dicha anomalía es aproximadamente concéntrica en torno a uno o varios núcleos y en la mayoría de los casos se alarga hacia el SE, acoplándose con la inversión térmica que se produce en dicha zona situada a mayor altitud.

Por último, el mapa promedio de la figura 15 refleja en cierta medida todas las características que hemos ido comentando hasta ahora. Por un lado, la totalidad del casco urbano con una fuerte anomalía positiva ligeramente binuclear producto de la vaguada fresca que produce en sus extremos



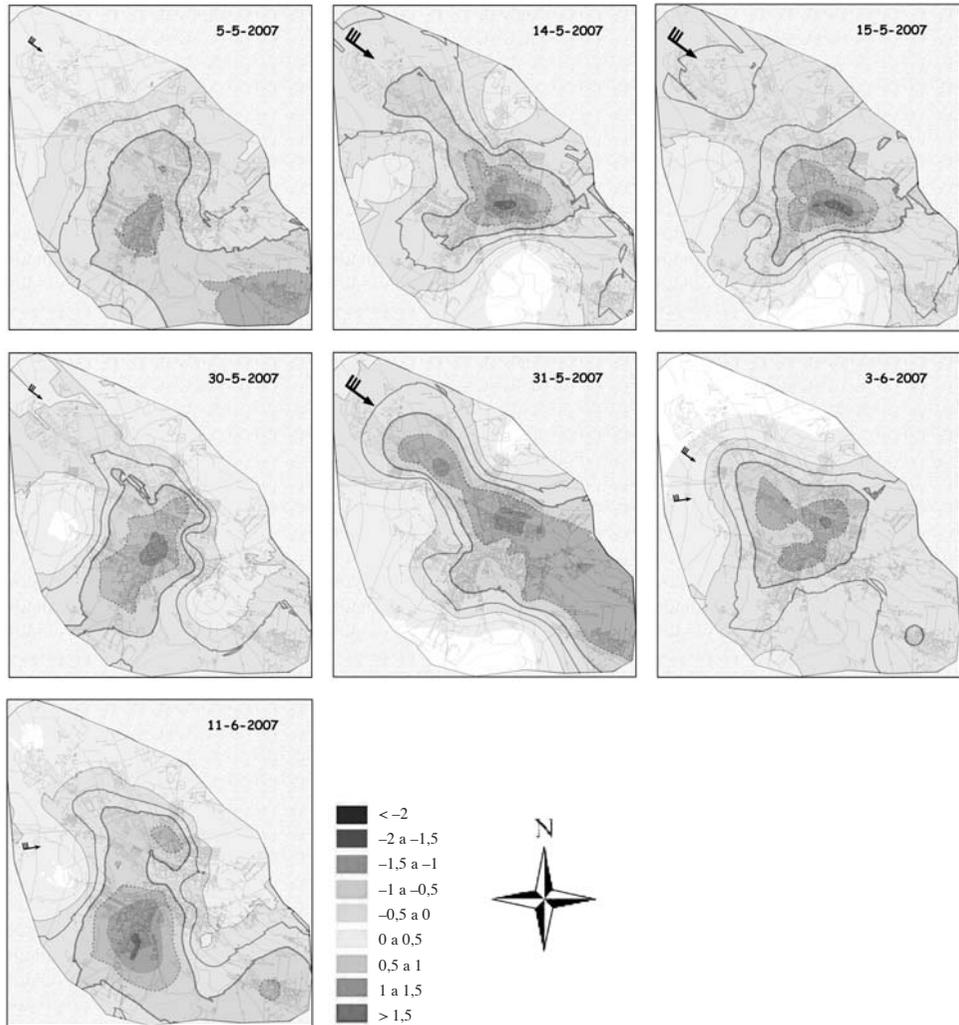


Fig. 14. Distribución espacial de la isla de calor para los 19 días de observación. Las diferentes líneas representan la temperatura estandarizada; la flecha negra, el viento durante la observación, de un tamaño proporcional a la racha máxima observada.

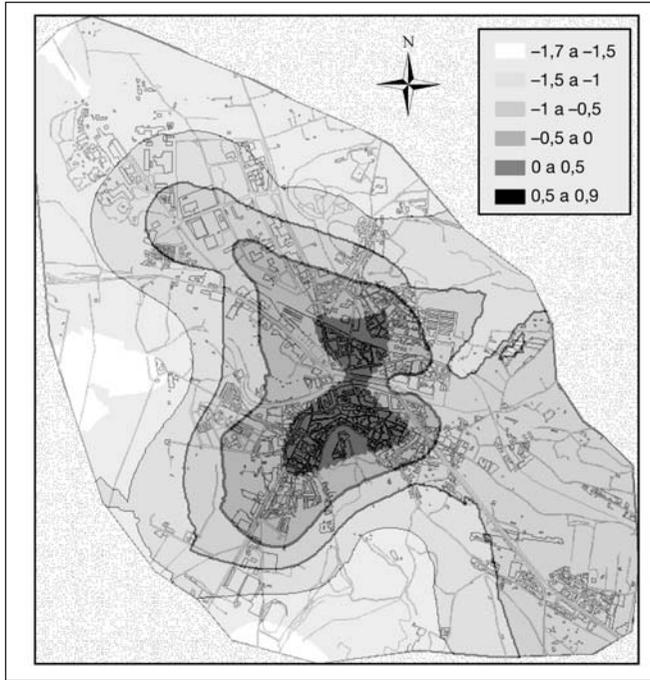


Fig. 15. Mapa promedio de la distribución espacial de temperaturas estandarizadas.

el paso del río Sosa y con el máximo absoluto en el núcleo correspondiente al casco antiguo. Un ligero alargamiento de la forma hacia el SE, y otro de mayor intensidad hacia el NW, motivada por el viento SE predominante en muchas ocasiones, pero en mayor medida por la influencia del calor generado por las industrias del NW del polígono bajo el flujo de poniente. El alargamiento hacia el SE alcanza la zona del barrio de la Carrasca, situado a mayor altitud, 310 m, y sometido por este motivo a continuas inversiones térmicas.

Contraste de hipótesis

A la vista del análisis hecho podemos concluir revisando las hipótesis de partida:

- En todas las observaciones se apreció el fenómeno de isla de calor en el casco urbano. Las mayores intensidades en el fenómeno y los

mayores gradientes térmicos entre el entorno urbano y rural se obtienen asociados a fuerte irradiación con inversiones térmicas, típicas del clima continental.

- La intensidad media de la “isla de calor” es de 3,4 °C, algo menor que la predicha por Oke. La intensidad máxima alcanza los 7,2 °C, y en todas las observaciones el fenómeno se produce con una intensidad mayor a 1,8 °C.
- En todas las observaciones hubo que corregir los datos por el efecto de descenso térmico nocturno.
- Se aprecia mayor intensidad en el fenómeno con viento muy flojo o en calma. En particular, para rachas de viento de más de 10 km/h⁻¹ el fenómeno disminuye en intensidad, aunque no desaparece, ni siquiera los días de viento moderado.
- La situación sinóptica no es determinante a la hora de establecer relación con la forma e intensidad de la isla de calor.
- La configuración en los días de viento marcado efectivamente se alarga en la dirección del viento dominante.
- El patrón de configuración medio se muestra binuclear y concéntrico con dos máximos, uno al NE sobre el barrio del Palomar y otro al SE del casco antiguo. Reseñable también el máximo relativo en el centro del polígono industrial.
- En las zonas más elevadas se aprecia la influencia de frecuentes inversiones térmicas. En el barrio de la Carrasca al SE (300 m) se constata con un máximo relativo y en el campo de tiro, con un mínimo relativo, poco marcado para una altitud de 350 m.
- No se aprecia relación entre el día de la semana y la intensidad de la isla de calor. De los tres domingos analizados no se puede extraer influencia alguna con el menor tráfico rodado y menor actividad en general.
- Los perfiles medios de los transectos muestran numerosos altibajos debido a la sinuosidad de su recorrido.

ESTIMACIÓN OBJETIVA DE LA CONFIGURACIÓN ESPACIAL DE LA ISLA DE CALOR URBANA

Metodología

Una vez obtenida la distribución de la isla de calor en forma de base de datos continua para los 19 casos, el planteamiento fue reducir el número de casos a un número mínimo de patrones temporales, independientes entre ellos, de forma objetiva, que aglutinaran la mayor parte de la información existente en el estudio. La solución estaba en la extracción por medio del análisis de componentes principales (ACP) en modo temporal T, de este modo, con unas pocas variables conseguimos explicar mucha de la varianza contenida en las variables temporales originales (HAIR et alii, 1998).

Los datos de origen introducidos en el sistema son, por un lado, las 19 variables para cada día de observación y los casos que corresponden a los 50 puntos de medición que reúnen los tres transectos, con su valor de temperatura normalizado, para que de este modo sean comparables entre sí. Para obtener el número de componentes principales (CP) adecuado se adoptó el criterio de autovalor > 1 (HAIR et alii, 1998).

Después los CP se rotaron para así redistribuir la varianza explicada por el método de Varimax (KAISER, 1958), el cual se considera que produce estructuras más estables y robustas (WHITE et alii, 1991).

Resultados

El número de componentes principales aconsejables según la condición de autovalor > 1 fue de tres. La varianza explicada entre los tres fue del 75,1%, algo baja pero suficiente para sacar conclusiones, teniendo en cuenta además que si añadimos un cuarto componente tan solo ganamos un 4,5% de varianza explicada y generamos bastante incertidumbre en los resultados.

El reparto de porcentaje de varianza explicada por componentes es bastante equitativo, producto de la redistribución producida por la rotación. El CP 1 explica el 30,7%, y el CP 2 y CP 3 el 22,2% (Tabla VIII).

Como nexo de unión entre los CP y las variables iniciales, se obtiene también una matriz formada por tres columnas, una para cada componente

principal (EOF 1, EOF 2, EOF 3, *Empirical Orthogonal Function*), y en cada columna 19 coeficientes que correlacionan cada componente con cada una de las variables iniciales (Tabla IX). Es decir, nos da una idea del parecido entre la estructura de isla de calor de cada día de observación con el patrón obtenido de cada componente.

En la gráfica de la figura 16, se representan las EOF correspondientes a cada componente principal, con sus coeficientes en forma de barras. A grandes rasgos, se observa, por un lado, cierto parecido entre la EOF 2 y la EOF 3, donde muchas de las correlaciones significativas tienen el mismo origen, sin embargo, la EOF 1 es casi complementaria a las otras dos, validando en una primera aproximación el haber excluido un cuarto componente principal.

Tabla VIII. Varianza explicada por los componentes principales.

Componente	Autovalores iniciales			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	8,988	47,307	47,307	5,835	30,712	30,712
2	3,794	19,968	67,275	4,219	22,204	52,916
3	1,483	7,806	75,080	4,211	22,165	75,080
4	,860	4,525	79,605			
5	,815	4,287	83,892			
6	,589	3,099	86,992			
7	,541	2,849	89,841			
8	,424	2,234	92,074			
9	,316	1,662	93,736			
10	,281	1,481	95,217			
11	,209	1,101	96,319			
12	,174	,916	97,234			
13	,117	,613	97,848			
14	,110	,580	98,428			
15	,100	,527	98,955			
16	,072	,377	99,332			
17	,060	,318	99,650			
18	,045	,238	99,888			
19	,021	,112	100,000			

Tabla IX. Matriz de correlaciones (EOF: *Empirical Orthogonal Function*).

	<i>Componente</i>		
	<i>EOF 1</i>	<i>EOF 2</i>	<i>EOF 3</i>
VAR00001	,083	,181	,814
VAR00002	,225	,101	,734
VAR00003	,457	,769	-,116
VAR00004	,540	,142	,643
VAR00005	,231	,501	,705
VAR00006	-,205	,606	,435
VAR00007	,134	,870	,232
VAR00008	,011	,679	,583
VAR00009	,875	-,064	,097
VAR00010	,628	,324	,066
VAR00011	,745	,138	,412
VAR00012	,897	,082	,219
VAR00013	,869	,152	-,149
VAR00014	,136	,595	,698
VAR00015	,198	,637	,631
VAR00016	,770	,149	,394
VAR00017	,099	,811	,244
VAR00018	,603	,358	,371
VAR00019	,930	-,064	,107

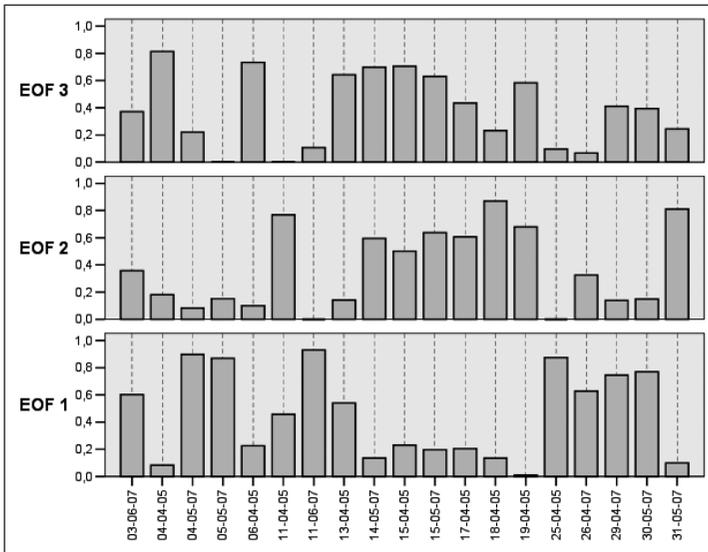


Fig. 16. Diagrama de barras con los coeficientes de correlación de las EOF.

Un estudio en profundidad de las EOF obtenidas a partir de los componentes principales, nos va a proporcionar mucha información acerca de la interdependencia de factores meteorológicos en la forma y estructura de la isla de calor en Monzón.

Los factores que se analizaron fueron la dirección del viento durante las horas previas y durante la misma observación, la velocidad de la racha máxima sostenida del viento durante la medición y el estado cualitativo del cielo.

Influencia de la dirección del viento sobre la variabilidad de la isla de calor

Mediante la representación de las EOF por medio de un diagrama de cajas podemos agrupar las cargas factoriales de cada mapa diario de medición según diversos factores de influencia. En un primer estudio analizamos el factor dirección de viento dominante a lo largo del día de medición. Originalmente, el abanico de direcciones de viento era bastante amplio, pero siempre dentro del 2º, 3º y 4º cuadrante, que tras diversos análisis se convirtió en una reducción a dos categorías: una que reúne todas las direcciones correspondientes al 2º cuadrante (SE), que abarcan seis días, y la

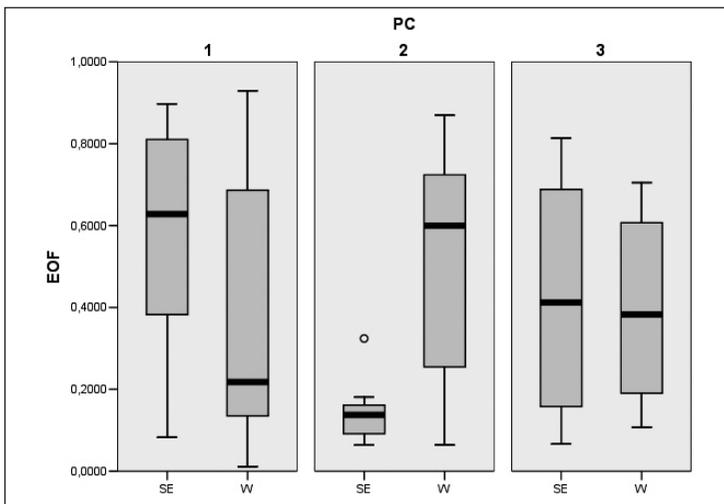


Fig. 17. Diagrama de cajas que representa las cargas factoriales de cada componente principal, agrupados según las dos direcciones principales del viento: W (3º-4º cuadrante) y SE (2º cuadrante).

otra, las correspondientes a los vientos de poniente (3^{er} y 4^o cuadrante, W), que hacen un total de trece días. Con esta disposición, la interpretación de los datos mejoraba sustancialmente (Fig. 17).

El patrón correspondiente al PC 1 explicaría una isla de calor modelo para los días con viento de levante (SE), ya que, sin ser excluyente correlaciona bastante mejor que los casos con viento de poniente. Con el PC 2 no hay duda puesto que las dos categorías son excluyentes, representando un modelo de isla de calor para los días con viento de poniente. El tercer patrón incluye por igual a ambas categorías, luego cabe suponer que representa un patrón base de isla de calor para todos los días.

Como el análisis subjetivo anterior se hace en función de la mediana y de percentiles, vamos a realizar un estudio comparativo de medias para ver si las diferencias entre los agrupamientos son significativas. El método utilizado es el combinado formado por la prueba de Levene y el t-test (VICENTE et álui, 2005).

Tabla X. Media, desviación estándar y error típico para cada agrupación (superior). Resultado de la prueba de Levene y el t-test para el factor dirección del viento (inferior).

<i>Estadísticos de grupo</i>					
	Viento	N	Media	Desviación típica	Error típico de la media
EOF 1	W	13	0,424455	0,3402506	0,0943686
	SE	6	0,519738	0,3108452	0,1269020
EOF 2	W	13	0,471213	0,3068686	0,0851100
	SE	6	0,161373	0,0868816	0,0354693
EOF 3	W	13	0,346036	0,2554677	0,0708540
	SE	6	0,481232	0,2987181	0,1219512

<i>Prueba de muestras independientes</i>						
	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias			
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilat.)	
EOF 1	0,679	0,421	-0,582	17	0,568	Se han asumido varianzas iguales
EOF 2	10,795	0,004	3,360	15,414	0,004	No se han asumido varianzas iguales
EOF 3	0,315	0,582	-1,019	17	0,323	Se han asumido varianzas iguales

En la tabla X podemos observar que las medias de las agrupaciones no son tan diferentes a como se esperaba observando las medianas de las cajas. Tan solo el componente o patrón 2 muestra una clara discriminación con un resultado significativo (sombreado) para la diferencia de las medias, por lo que se puede concluir que dicho patrón explica la estructura de isla de calor bajo flujo de viento de poniente (W). Los otros dos patrones parecen influenciados en mayor medida por el flujo de levante (SE), aunque los estadísticos obtenidos no son significativos.

A la vista de estos resultados necesitamos buscar más causas que justifiquen la estructura de los patrones obtenidos. En el siguiente punto se analiza la influencia de la velocidad del viento.

Influencia de la velocidad máxima del viento sobre la variabilidad de la isla de calor

Dado que existe cierta ambigüedad en la interpretación del primer y tercer componente, se buscó otra influencia en la morfología de isla de calor. Observando el análisis del primer componente se puede apreciar que el caso mejor correlacionado se encuentra con viento de poniente, un viento

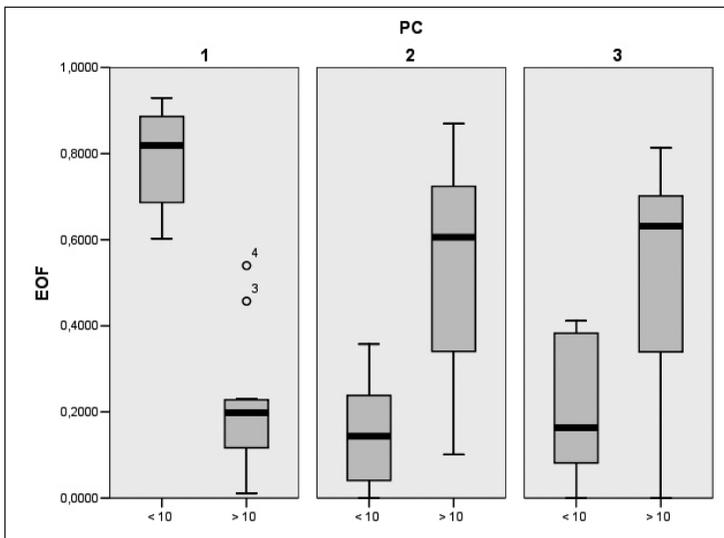


Fig. 18. Diagrama de cajas que representa las cargas factoriales de cada componente principal, agrupados según sea mayor o menor de 10 km/h la racha de viento máxima.

(cierzo en el valle del Ebro) que normalmente sopla de forma moderada y alguna vez como flujo débil. En el siguiente diagrama se buscó la influencia de la velocidad en la racha máxima continuada del viento durante la medición en la morfología de la isla de calor a través de sus CP.

En efecto, el patrón correspondiente al PC 1 es muy sensible a la racha máxima sostenida del viento durante la medición, ya que se observa una elevada correlación para aquellos días en los que la racha máxima no superó los 10 km/h. En los otros dos patrones, aun sin llegar a elevadas correlaciones, dominan los días con rachas superiores a 10 km/h (Fig. 18).

Los resultados obtenidos en el diagrama de cajas de la figura 18 se confirman a través de los estadísticos de la tabla XI, mostrando para los tres patrones diferencias significativas en las medias de las agrupaciones y estableciendo claras dependencias entre la velocidad máxima del viento y la estructura de la isla de calor definida por dichos patrones.

Tabla XI. Media, desviación estándar y error típico para cada agrupación (superior). Resultado de la prueba de Levene y t-test para el factor racha máxima de viento (inferior).

<i>Estadísticos de grupo</i>					
	Viento	N	Media	Desviación típica	Error típico de la media
EOF 1	< 10	8	0,789601	0,1243881	0,0439778
	> 10	11	0,210867	0,1581342	0,0476792
EOF 2	< 10	8	0,150406	0,1326486	0,0468983
	> 10	11	0,535523	0,2741835	0,0826694
EOF 3	< 10	8	0,208371	0,1642156	0,0580590
	> 10	11	0,519900	0,2580891	0,0778168

<i>Prueba de muestras independientes</i>						
	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias			
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilat.)	
EOF 1	0,035	0,855	8,578	17	0,000	Se han asumido varianzas iguales
EOF 2	4,731	0,044	-4,052	15,220	0,001	No se han asumido varianzas iguales
EOF 3	2,026	0,173	-2,990	17	0,008	Se han asumido varianzas iguales

Con estos dos análisis queda claramente establecida la relación unívoca entre la estructura de isla de calor representada por los tres CP y unas condiciones determinadas de viento en superficie.

La estructura que se obtiene de CP 1 quedaría asociada a los días con viento de levante, pero además a todos aquellos cuyas rachas de viento al anochecer no superen los 10 km/h. La CP 2 explicaría todos los días con viento de poniente, pero con rachas sostenidas de cierta entidad, y la CP 3 correlaciona bastante mejor con los días con viento que en calma.

Influencia del estado del cielo sobre la variabilidad de la isla de calor

Por último, se sabe que existe una fuerte influencia de la nubosidad en la irradiación nocturna, y que el aumento de esta en días despejados puede producir diferencias importantes de temperatura entre el núcleo urbano y la periferia rural (BONAFÈ et alii, 2003), debido fundamentalmente a las distintas emisividades de los materiales. Por ello, hemos realizado también el estudio de cajas agrupando según la nubosidad en el momento de la medición. La discriminación es muy subjetiva y cualitativa, haciendo dos grupos según el cielo estuviera despejado o predominantemente nuboso.

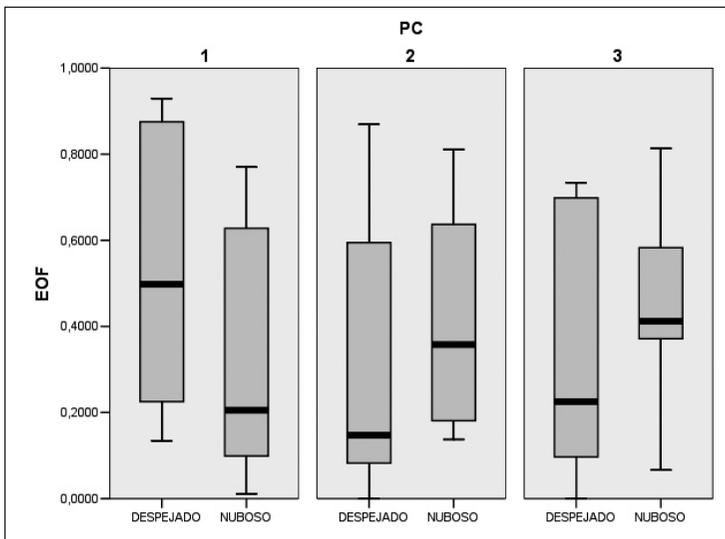


Fig. 19. Diagrama de cajas que representa las cargas factoriales de cada componente principal, agrupados según el estado del cielo.

Los resultados no son muy claros, existe mucho solapamiento en las tres CP (Fig. 19), aunque sí que se puede extraer alguna débil, pero razonable conclusión. En el primer grupo la mediana correspondiente a los días despejados, con una correlación de 0,5, es bastante mayor que la que corresponde a los día nublados. Esto estaría en consonancia con los resultados anteriores donde existe un día tipo con viento en calma o ligera brisa del SE y totalmente despejado. En las otras dos CP no se pueden extraer resultados concluyentes, lo que induce a pensar que el fenómeno de isla de calor en Monzón no se ve claramente influenciado por la nubosidad existente.

Representación de la estructura espacial de la isla de calor a partir de los componentes principales

Nuevamente a través de ArcGis, se han introducido los valores normalizados de los puntos de medida obtenidos para cada componente principal y mediante interpolación por Kriging Ordinario se ha representado la estructura de isla de calor correspondiente a dichos componentes.

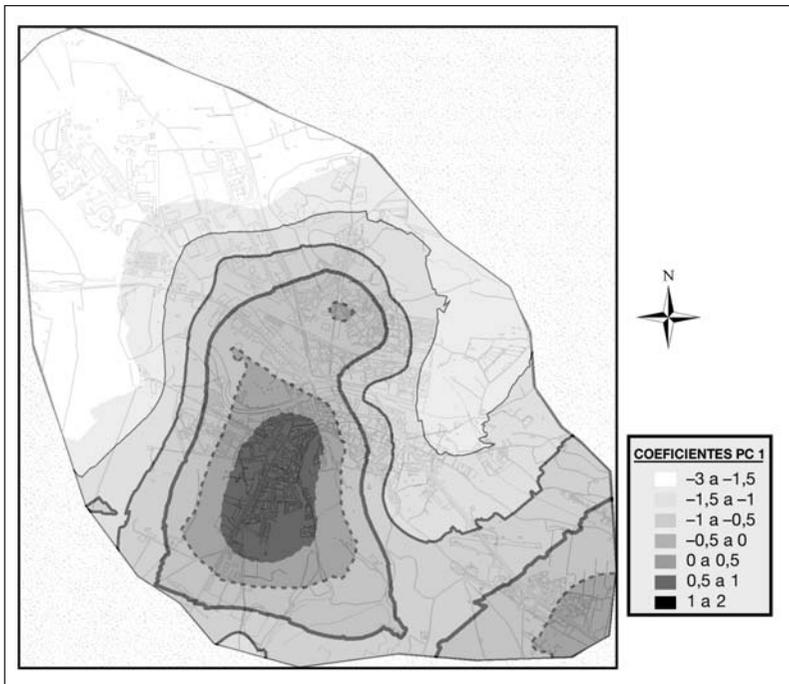


Fig. 20. Representación espacial del patrón de isla de calor explicado por la PC 1.

En el mapa de la figura 20 se representa el patrón de isla de calor correspondiente al primer componente principal. Lo más característico que se observa es el núcleo cálido al sur de la población, dentro del casco urbano, que se une al SE con otra zona cálida que corresponde con el barrio de la Carrasca, quedando en el medio el cerro del castillo, también con anomalía positiva de temperatura. Como estas dos últimas zonas se encuentran entre 300 y 350 m, más de 50 m por encima del casco urbano, estaríamos hablando de una inversión térmica unida al fenómeno de isla de calor urbano.

Si relacionamos ahora lo comentado del mapa con los diagramas de cajas construidos a partir de las cargas factoriales y discriminadas en función de la velocidad y de la dirección del viento, observamos que la casuística que se ajusta perfectamente a lo expuesto en el mapa es la de una noche con viento del SE muy débil, con rachas máximas por debajo de los 10 km/h.

La zona sureste del mapa se corresponde con una suave pendiente que baja hacia el casco urbano. En noches de mucha calma la brisa formada por

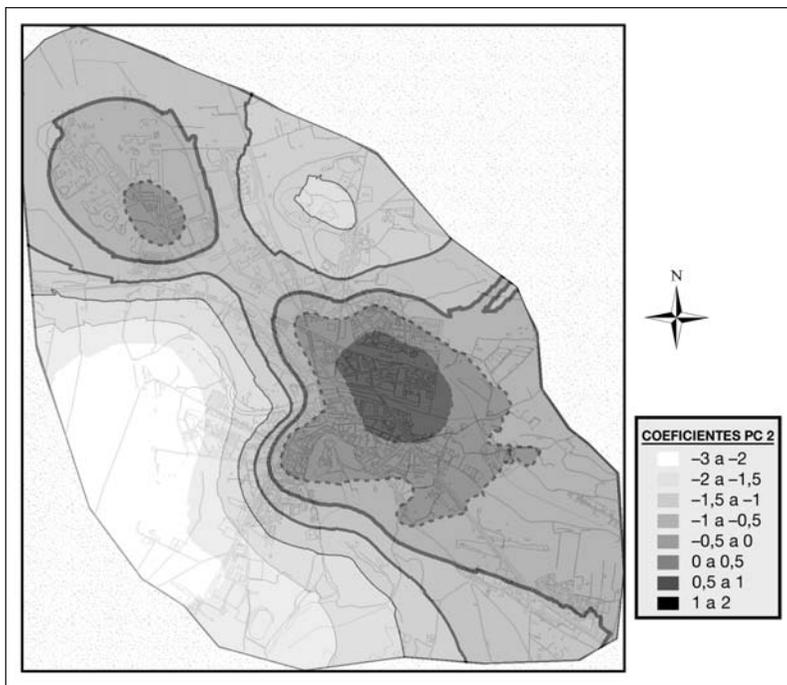


Fig. 21. Representación espacial del patrón de isla de calor explicado por la PC 2.

corrientes de drenaje facilitaría la formación de la inversión térmica. Si a eso unimos el encajonamiento que supone el cerro del castillo para facilitar su establecimiento y el efecto barrera que supone para la zona urbana sur que queda a sotavento del cerro, quedaría también explicado el que en esta zona se alcance la máxima intensidad de isla de calor.

El patrón de isla de calor correspondiente al segundo componente principal muestra cómo el centro de la anomalía cálida se desplaza hacia el E alargándose dicha anomalía hasta la zona sureste de la población (Fig. 21). Aparece también otro núcleo menos cálido en el centro del polígono de Las Paúles en la zona donde se ubica la fundición de ferroaleaciones. Al NE y SW, aparecen enseguida las anomalías frías, dejando una estructura de isla de calor claramente alineada con la dirección NW-SE.

Los diagramas de cajas corroboran lo que ya se intuye en el mapa, los días más correlacionados con este mapa sopla viento cierzo del WNW moderado con rachas máximas por encima de los 10 km/h.

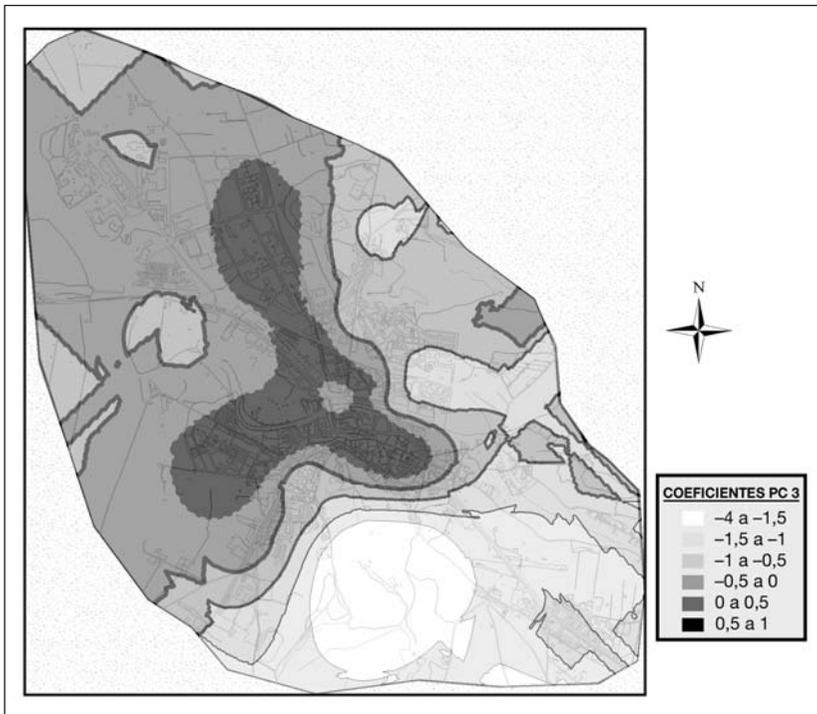


Fig. 22. Representación espacial del patrón de isla de calor explicado por la PC 3.

En este caso la figura 22 muestra el patrón de isla de calor correspondiente al tercer componente principal. La estructura de la isla de calor en este patrón presenta tres núcleos de anomalía cálida correspondientes al centro y sur urbano y al polígono industrial, y un núcleo frío muy marcado en el cerro del castillo y zona alta del SE del mapa. Aunque este contraste aparente gran intensidad del fenómeno explicado por el patrón, la leyenda advierte de su menor importancia en relación con la anomalía explicada en los otros dos patrones, del orden de la mitad.

El análisis de cargas factoriales solo revela mayor correlación con los días de viento moderado, pero indistintamente para las dos direcciones de viento dominante, de ahí que la intensidad de la isla de calor sea baja y que no muestre direccionalidad en su estructura.

Se podría concluir diciendo que este sería un patrón base para muchos de los casos de isla de calor que se producen en Monzón, tal y como ocurre en Zaragoza (VICENTE et alii, 2005).

Acoplamiento entre isla de calor urbana e inversión de zonas adyacentes

El mapa obtenido a partir de la PC 1 revela que una de las situaciones típicas en las noches de Monzón es la asociada con una inversión térmica de baja cota que deja por encima de ella al cerro del castillo, que se eleva 90 m sobre el casco urbano. Si a eso unimos la intensidad moderada de isla de calor que existe en el casco urbano, prácticamente en cualquier situación meteorológica, podemos concluir que la configuración orográfica a un lado y a otro del cerro y la situación del casco urbano bajo este conforman un microclima característico local. La figura inferior presenta un esquema idealizado de lo que sería dicho acople; en él juegan un papel fundamental las corrientes de drenaje que descienden por las laderas hacia los ríos Sosa y Cinca. La estación que denominamos urbana, queda más bien en la zona periférica del casco urbano por lo que a medida que va transcurriendo la noche va quedando fuera de la isla de calor urbana, quedando reducida esta al centro de la población.

Para constatar este hecho hemos recurrido a los datos proporcionados por el sensor de temperatura que la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) tiene instalado en el repetidor de lo alto del cerro. Justo debajo de este queda la estación urbana.

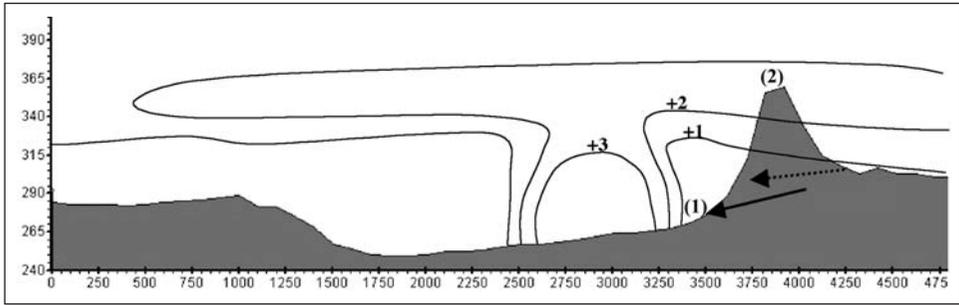


Fig. 23. Idealización del solapamiento de la isla de calor e inversión adyacente. Las líneas indican isotermas. Las flechas indican corrientes de drenaje hacia el centro desde el SE y hacia el SE desde el cerro. (1) estación urbana, (2) termómetro CHE.

Se realizó un estudio de las temperaturas mínimas observadas en los dos puntos de medición entre 2005 y 2007. De los 643 días contabilizados, en 345 ocasiones (53%) se registró una temperatura mínima mayor en lo alto del cerro, por 288 (45%) en las que fue superior en el casco urbano. La media de todas las diferencias de temperaturas mínimas queda en 0,2 °C mayor en la estación del cerro.

La tabla XII muestra cómo algunas de las inversiones llegan a ser moderadas (4,4°) teniendo en cuenta que la medición de altura se hace sobre superficie y que la estación inferior tiene características urbanas. Estudios hechos en Helsinki (KARPPINEN et alii, 2002) hablan de inversiones de baja cota muy frecuentes y con una intensidad de hasta 8 °C en 50 m.

Tabla XII. Valores máximos de inversión térmica registrados entre los dos puntos de medición y otros parámetros meteorológicos.

	<i>Intensidad de inversión (°C)</i>	<i>Racha máxima de viento (km/h)</i>	<i>Dirección del viento</i>	<i>Humedad relativa (%)</i>
16/2/2007	-4,4	< 8	ENE	70-85
10/1/2007	-3,8	< 5	ENE	97-100
15/10/2005	-3,4	< 10	NNE	97
16/7/2005	-3,3	< 5	NNE	55
3/1/2006	-3,0	< 5	NNW	70-85

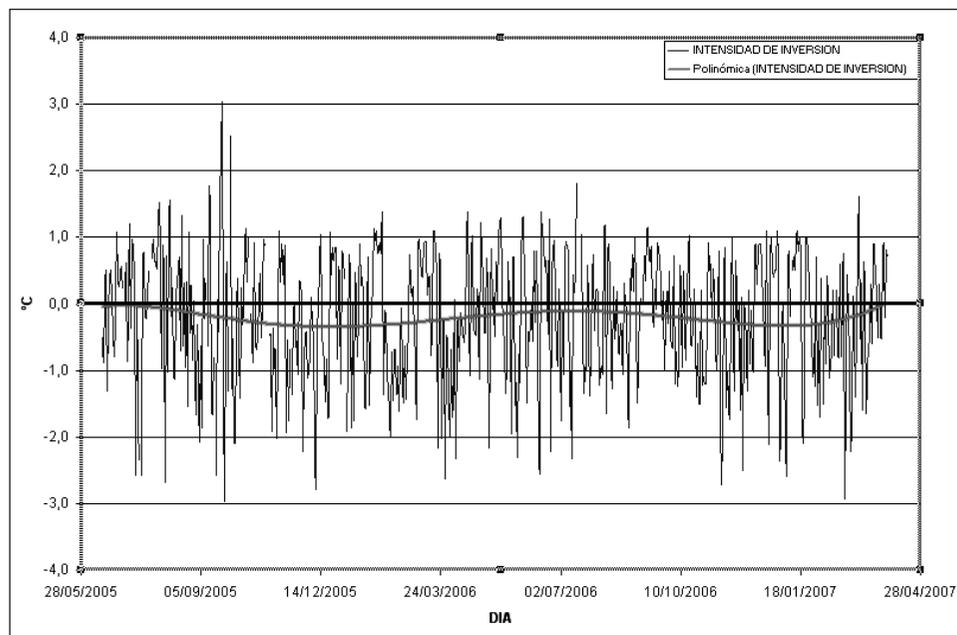


Fig. 24. Intensidad de la inversión térmica medida por diferencia entre las temperaturas del casco urbano y del cerro.

En todas ellas se observa como factor común la baja velocidad del viento cuyas rachas máximas no superaron el umbral de los 10 km/h durante ninguna de las noches, y la dirección de la brisa NE que corresponde a la composición de las corrientes de drenaje que descienden desde el N por el Cinca y el E desde el cerro.

La evolución estacional de la figura 24 muestra cómo la mayor frecuencia e intensidad de la inversión se produce en los periodos de invierno, cuando la velocidad del viento se reduce a sus valores mínimos bajo la influencia del anticiclón invernal sobre la Península Ibérica. Los valores de inversión llegan a alcanzar una intensidad moderada de hasta 2 y 3° diferenciales, fácilmente explicable si asumimos el acoplamiento comentado en el párrafo anterior y pensamos que la intensidad de isla de calor urbana alcanza esa e incluso mayor magnitud.

Los valores positivos quedan entre 1 y 1,5° grados diferenciales, acorde con la diferencia de altitud y cierta amplificación por el fenómeno de calor urbano.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos son satisfactorios, mostrando que el pequeño tamaño de la población no impide la formación del fenómeno, en ocasiones con intensidad moderada, y que en ella juega un papel fundamental la orografía local y regional y otros parámetros meteorológicos. El estudio estadístico con la estación rural depara los siguientes resultados:

- La intensidad de isla de calor nocturna, medida con el valor de las temperaturas mínimas alcanza un valor promedio de entre 1 y 1,5 °C, llegándose a los máximos en primavera y otoño.
- El fenómeno se atenúa por el día hasta desaparecer. Incluso en verano se invierte formándose una “isla de frescor” de baja intensidad (0,4 °C).
- El 75% de los días se produce anomalía térmica nocturna en la ciudad y en el 50% esta anomalía tiene una intensidad mayor de 1,5 °C, siendo septiembre el mes con máximas intensidades con un 5% de días en los que se superan los 5 °C.
- La amplitud térmica diaria en el casco urbano se muestra en todo momento inferior al entorno rural con una diferencia máxima en verano de 2,5 °C y un mínimo de 0,5 °C en invierno.

El estudio de campo con transectos muestra resultados en el mismo sentido. A través de un análisis subjetivo inicial se obtuvieron los siguientes datos:

- En todas las observaciones se apreció el fenómeno de isla de calor en el casco urbano. Las mayores intensidades en el fenómeno y los mayores gradientes térmicos entre el entorno urbano y rural se obtienen asociados a fuerte irradiación con inversiones térmicas, típicas del clima continental.
- La intensidad media de la “isla de calor” es de 3,4 °C, algo menor que la predicha por Oke. La intensidad máxima alcanza los 7,2 °C, y en todas las observaciones el fenómeno se produce con una intensidad mayor a 1,8 °C.
- Se aprecia mayor intensidad en el fenómeno con viento muy flojo o en calma. En particular, para rachas de viento de más de 10 km/h⁻¹ el fenómeno disminuye en intensidad, aunque no desaparece, ni

siquiera los días de viento moderado. Además, su configuración en dichos días se alarga en la dirección del viento dominante.

- La situación sinóptica no es determinante a la hora de establecer relación con la forma e intensidad de la isla de calor.
- El patrón de configuración medio se muestra binuclear y concéntrico con dos máximos, uno al NE sobre el barrio del Palomar y otro al SE del casco antiguo. Reseñable también el máximo en el centro del polígono y el mínimo acusado en el campo de tiro.
- Un análisis objetivo posterior por medio de componentes principales permite corroborar alguna de las conclusiones anteriores. De los tres patrones principales de isla de calor generados, el primero quedó asociado a un flujo muy débil de levante, con un núcleo de anomalía térmica positiva en el centro-sur de la población y formación de inversión térmica al E. El patrón 2 queda claramente ligado a los días de cierzo moderado y una estructura del calentamiento urbano alargada en dirección WNW-ESE. El último patrón parece comprender ambos flujos, pero predominando aquellos por encima del umbral de 10 km/h en el flujo de viento, siendo su estructura trinuclear con máximos repartidos por el casco urbano y el polígono industrial. Por otra parte, parece demostrada la influencia de la atmósfera creada sobre el palio urbano por el efecto térmico y la formación de inversiones térmicas al E de la población.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDERSON, M. R. (1985). Season and mortality. *Healths Trends*, 17: 87-96.
- ALONSO, M. S.; FIDALGO, M. R., y LABAJÓ, J. L. (2004). El clima de las ciudades: isla de calor de Salamanca. *Rev. Salud Ambiental*, 4(1-2): 25-29.
- BONAFÈ, G.; DESERTI, M.; MINGUZZI, E.; TAGLIAZUCCA, M., y TRIVELLONE, G. (2003). The urban atmospheric boundary layer: experimental campaigns in Bologna (Italy). *The Fourth International Conference on Urban Air Quality Measurement, Modelling and Management*, 25-28 March 2003, Charles University Prague, Czech Republic, submitted to Atmospheric Environment.
- CAPEL MOLINA, J. J. (2000). *El clima de la Península Ibérica*. Ariel. Barcelona.
- CASTILLO CASTÁN, V. (2007). *El clima del Cinca Medio*. Comarca del Cinca Medio: 45-51. Colección Territorio, 26.

- CUADRAT, J. M.; VICENTE, S., y SAZ, M. A. (2005). Los efectos de la urbanización en el clima de Zaragoza (España): la isla de calor y sus factores condicionantes. *Boletín de la AGE*, 40: 311-327.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F.; ALMENDROS COCA, M. A., y LÓPEZ GÓMEZ, A. (1996). La influencia del relieve en la isla de calor de Madrid: las vaguadas del Manzanares y el Albroñigal. *Estudios Geográficos*, 224: 473-494.
- FERNÁNDEZ, F.; MONTÁVEZ, J. P.; GONZÁLEZ, J., y VALERO, F. (2004). Relación entre la estructura espacial de la isla térmica y la morfología urbana de Madrid. Asociación Española de Climatología. Congreso (4. 2004. Santander).
- FIGUEROLA, P., & MAZZEO, N. (1998). Urban-rural temperature differences in Buenos Aires. *Int. J. Climatol.*, 18: 1709-1723.
- HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L., y BLACK, W. (1998). *Multivariate data analysis*. Prentice Hall. Nueva York.
- KAISER, H. E. (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psikometrika*, 23: 187-200.
- LANDSBERG, H. E. (1981). *The urban Climate*. Academic Press. Nueva York.
- LÓPEZ GÓMEZ, A., et alii (1993). *El clima de las ciudades españolas*. Cátedra. Madrid. 268 pp.
- LÓPEZ GÓMEZ, A., et alii (1998). *Temperaturas nocturnas y diurnas en Madrid a partir de teledetección aeroportada*. CSIC. Madrid. 83 pp.
- LÓPEZ GÓMEZ, A., y FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1984). La isla de calor en Madrid: avance de un estudio de clima urbano. *Estudios Geográficos*, 174: 5-34.
- LÓPEZ GÓMEZ, A.; FERNÁNDEZ GARCÍA, F., y MORENO JIMÉNEZ, A. (1993). *Clima urbano: teledetección de la isla de calor en Madrid*. MOPT. Madrid. 157 pp.
- LOWRY, W. P. (1977). Empirical estimation of urban effects on climate: A problem analysis. *Journal of Applied Meteorological*, 36: 1377-1391.
- MONTÁVEZ, J. P.; RODRÍGUEZ, A. J., & JIMÉNEZ, J. I. (2000). A Study of the Urban Heat Island of Granada. *J. Climatol.*, 20: 899-911.
- MONTÁVEZ, J. P. (2002). *Variabilidad climática y cambio climático. Estudio teórico y modelización de la isla de calor*. Tesis doctoral. Universidad de Granada.
- MORENO, M. C. (1993). *Estudio del clima urbano de Barcelona: la isla de calor*. Tesis doctoral, 1990. Barcelona. XI + 193 pp.
- MORENO, M. C. (1994). Intensity and form of the urban heat island in Barcelona. *Int. Journal Climatol.*, 14: 705-710.
- MORENO, M. C. (1999). *Climatología urbana*. Edicions Universitat de Barcelona. Textos Docents, 160.
- MORRIS, C. J.; SIMMONDS, I., & PLUMMER, N. (2001). Quantification of the influences of wind and cloud on the nocturnal urban heat island of a large city. *J. Appl. Meteorol.*, 40: 169-182.

- OKE, T. R., y HANELL, F. G. (1970). The form of the urban heat island in Hamilton, Canada. *WMO, Urban Climates*: 113-126.
- OKE, T. R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, 7: 769-779.
- OKE, T. R. (1979). *Review of urban climatology*. WMO. Ginebra. Nota técnica número 169. 100 pp.
- OKE, T. R. (1988). The urban energy balance. *Progress in Physical Geography*, 12: 471-508. Edward Arnold. Londres.
- OKE, T. R. (1995). The heat islands of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects. En CERMAK, J. E. (ed.). *Wind Climate in Cities*. Kluwer Academic Publishers. Norwell.
- PIRINGER, M., & KUKKONEN, J. (eds.) (2002). Mixing height and inversions in urban areas. *Proceedings of workshop*, 3-4 October 2001. Toulouse, France. COST-Action 715, EUR 20451, European Commission. Bruselas. 113 pp. [<http://cost.fmi.fi/proceeding-sotoulouse.pdf>].
- PIRINGER, M., & JOFFRE, S. (eds.) (2005). The urban surface energy budget and mixing height in European cities: data, models and challenges for urban meteorology and air quality. *Final report of Working Group 2*. COST-Action 715. Demetra Ltd. Publishers. Bulgaria. 239 pp.
- VICENTE, S.; CUADRAT, J. M., y SAZ, M. A. (2005). Spatial patterns of the urban heat island in Zaragoza (Spain). *Climate Research*, 30: 61-69.
- VILA CLARA, E. (2003). Situacions del nord-oest sobre Catalunya: l'estela pirinenca. *Tethys*, 2. [<http://tethys.acamet.org/num02/articles/art0207.htm>].
- WHITE, D.; RICHMAN, H., & YARNAL, B. (1991). Climate regionalization and rotation of principal components. *Int. Journal Climatol.*, 11: 1-25.

FUENTES DE LOS DATOS UTILIZADOS

Datos de la estación agroclimática: Red SIAR, gestionada por la Oficina del Regante del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón.

Datos de temperatura del repetidor de Monzón: Red SAIH (Sistema Automático de Información Hidrográfica). Confederación Hidrográfica del Ebro.

EL ALUD DEL 23 DE ABRIL DE 2008 EN EL BARRANCO DE LAS FAJAS, SALLENT DE GÁLLEGO (HUESCA)

José Antonio CUCHÍ¹
Emilio LEO²
Óscar AGUARTA³
Santiago FÁBREGAS⁴
Rocío HURTADO⁴
Carlos BETRÁN⁴
Francisco ESPEJO⁵
Luis CANCER⁶

RESUMEN.— El presente trabajo presenta algunas características del alud caído el día 23 de abril de 2008 en el barranco de Las Fajas, en las cercanías del embalse de La Sarra (Sallent de Gállego, Huesca).

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

² Subdelegación del Gobierno en Huesca. Unidad de Protección Civil. Plaza de Cervantes, 1. E-22071 HUESCA. emilioa.leo@map.es

³ Servicio de Protección Civil de la Comarca del Alto Gállego. C/ Secorún, s/n. E-22600 SABIÑÁNIGO. procivil@altogallego.org

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

⁵ Agencia Estatal de Meteorología. Delegación Territorial en Aragón. Paseo del Canal, 17. E-50071 ZARAGOZA. pespejo@inm.es

⁶ Universidad de Jaén. Área de Geografía Física. lcancer@ujaen.es

ABSTRACT. — The present paper shows some of the characteristics of the snow avalanche fallen the 23 of april of 2008 at the Las Fajas creek, near La Sarra dam (Sallent de Gállego, Huesca).

KEY WORDS. — Snow avalanche, Las Fajas, Sallent de Gállego, Huesca, Aragón (Spain).

INTRODUCCIÓN

Pese al creciente interés por los riesgos propios de la naturaleza montañosa del Alto Aragón, hay pocos estudios sobre aludes. La excepción son los trabajos de SÁEZ-ALAGÓN (1993 y 1994), que cartografía este peligro desde el Gállego a Navarra. En 1996 el Gobierno de Aragón financió una cartografía, a escala 1: 50 000, de las zonas de mayor vulnerabilidad por caída de aludes en Huesca, continuación de la tesis doctoral de MUÑOZ TRIGO (1989). La defensa del puerto y túnel carretero del Somport se presenta en LÓPEZ Y MIJANGOS (1994) y LÓPEZ y cols. (1997). LAMPRE (1998) estudia los aludes en Ballibierna (Benasque). JULIÁN y CHUECA (1999) esquematan los más importantes en Ordesa. CANCER (2002) trabaja un alud en el valle del Caldarés (Panticosa). LEO y CUCHÍ (2004) listan los accidentes entre 1953 y 2003, así como las zonas de mayor peligro. CUCHÍ y cols. (2008) analizan este riesgo en la cara norte del tozal de Guara.

Tras un verano y otoño muy secos en el norte de Aragón, el invierno 2007-2008 comenzó en la misma tendencia, con una innivación muy reducida en el Pirineo central. Lamentablemente, en una de las pocas nevadas de importancia, el 4 de enero murieron tres esquiadores por avalancha en Formigal. La tendencia cambió con la llegada de la primavera. Así, en abril, la estación meteorológica del embalse de La Sarra registró 286 mm de precipitación. 147 entre el 15 y el 22 (Fig. 1a). El aumento significativo de precipitaciones hizo que hubiera a finales de abril, en el Pirineo central, espesores de nieve superiores a los de cualquier momento de los dos años anteriores.

Los días 12 y 13 de abril, nevadas débiles con viento sur y sureste formaron placas de viento en las caras norte, con aludes por paso de esquiadores en la Renclusa. Posteriormente, del 17 al 21 de abril, una depresión centrada sobre el golfo de Vizcaya afectó al norte peninsular, con precipitaciones muy importantes. En el Pirineo fueron en gran parte en forma de nieve. Al cesar las precipitaciones, durante la primera mitad del día 22, el

manto nival era continuo por encima de los 1800 m, comenzando en muchas zonas por encima de los 1500 m. Como ejemplo, en el refugio de Góriz, a 2215 m, el manto pasó de 70 cm, el día 16, a 190 cm (máximo anual) el día 21. Los aumentos de espesor fueron, en algún día, del orden de 50 cm en 24 h. Los sondeos nivológicos y perfiles de nieve, en refugios y estaciones de esquí, mostraban al finalizar el episodio, entre 2100-2200 m, una capa superficial de 50 a 70 cm de nieve poco evolucionada y con baja cohesión. Aunque, naturalmente, el dato varía mucho por macizos y orientaciones, se puede estimar un espesor medio de nieve para el Pirineo central de 100 cm en la cota de los 2000 m.

Durante el episodio de nevadas los vientos variaron, inicialmente del sur para luego pasar al oeste. En este periodo, entraron sucesivos sistemas frontales asociados a la depresión. Esto supuso cambios en la cota de nieve, que junto con la oscilación diurna de temperaturas, hizo que el manto se encontrara humedecido en las cotas más bajas (por debajo de los 2000 m) y seco por encima de ese nivel.

El día 23 de abril, el desplazamiento de la depresión hacia el oeste y su reemplazo por una dorsal anticiclónica supuso la irrupción de una

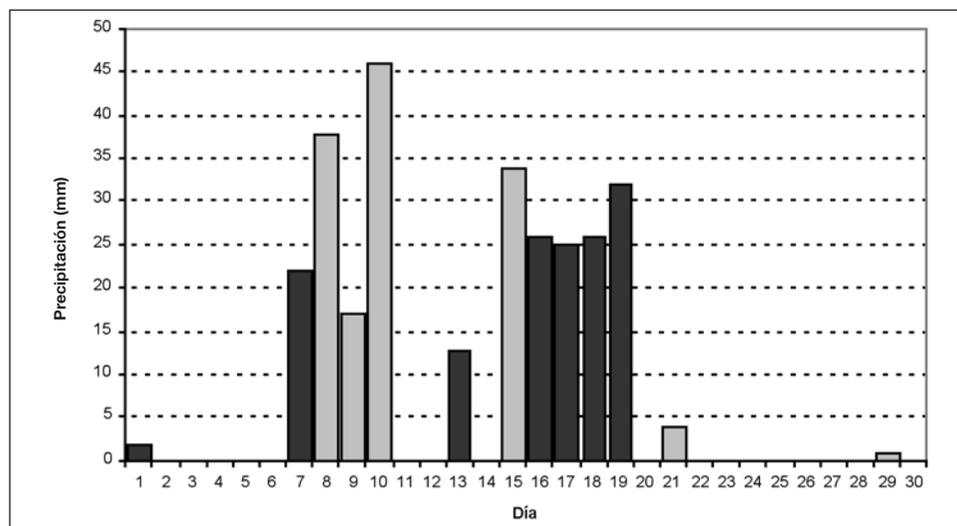


Fig. 1a. Precipitaciones diarias registradas en abril de 2008 en la estación del embalse de La Sarra (1460 m): en forma de lluvia y nieve (gris oscuro), de lluvia exclusivamente (gris claro).

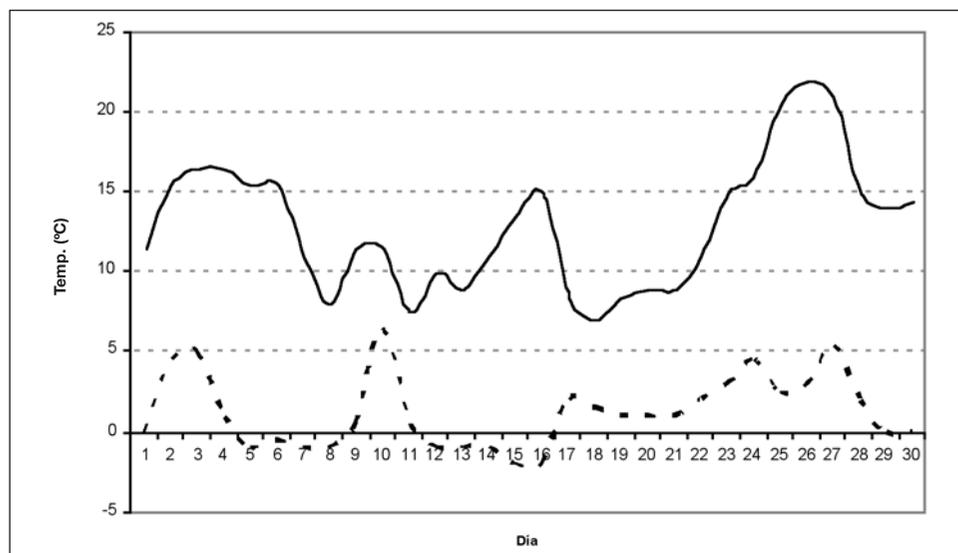


Fig. 1b. Temperaturas diarias máximas (línea sólida) y mínimas (línea discontinua) registradas en abril de 2008 en Sallent de Gállego-Lanuza (1300 m). Fuente: AEMET.

masa de aire más cálida con un aumento muy significativo de la temperatura (Fig. 1b). Esto, en unión de las grandes cantidades de nieve reciente acumulada, desencadenó una pequeña crisis de avalanchas. La AEMET pronosticó para ese día un riesgo 5, máximo en la escala europea de peligro de aludes, por encima de los 2000 m. Hubo avalanchas en muchos macizos pirenaicos. Por ejemplo, la cara norte de Guara presentaba seis avalanchas en esa mañana.

El mismo día cayó una avalancha de ciertas dimensiones en el barranco de Las Fajas o As Feixas, situado en la cola del embalse de La Sarra, cuenca del río Aguas Limpias. El alud despertó cierta atracción por caer en día festivo, en las inmediaciones de una zona frecuentada por turistas y montañeros. Este trabajo analiza algunas de sus características.

ALUD DEL BARRANCO DE LAS FAJAS

(78 – ALUD DE LAS FAJAS [DGA]; 33I [SÁEZ])

La cuenca del Aguas Limpias es problemática por sus avalanchas. El 8 de febrero de 1996, un gran alud procedente del pico Frondellas causó daños

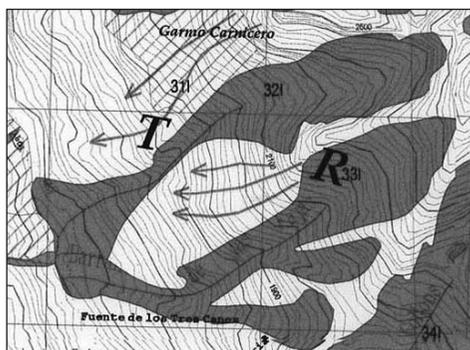


Fig. 2a. Alud 321. SÁENZ-ALAGÓN (1994).



Fig. 2b. Alud 78. DGA (1996).

en el refugio de Respomuso, de la Federación Aragonesa de Montaña. Seis montañeros vascos murieron en Llano Cheto, descendiendo del refugio, el 6 de enero de 1995. El 28 de noviembre de 2000, dos montañeros aragoneses fallecieron arrastrados por un alud en el camino colgado entre la presa de Respomuso y los ibones de Arrieles. En la actualidad, el refugio cierra en invierno, y se recomienda un acceso alternativo por el collado de Musales. Tampoco la zona final del valle está libre de peligro. El 28 de enero de 1972, la central de La Sarra, hoy protegida por varias defensas, sufrió una avalancha, con importantes daños en la subestación eléctrica.

Unos centenares de metros, aguas arriba de la central, hay otra canal de aludes. Baja por el barranco de Las Fajas o As Feixas, también conocido como alud de Musales por descender de este pico. Sale de un valle que mira al oeste, en pizarras y cuarcitas del Devónico superior y recubierto de gleras, con una clara cicatriz erosiva en su centro. El resto de la cuenca son pizarras y areniscas también del Devónico, muy fracturadas por estar en la periferia del batolito de Cauterets-Respomuso. La canal de desagüe presenta un importante giro por efecto de una falla que sigue el torrente en su zona inferior (ITGE, 1989). Acaba en un cono abancalado de prados de riego, en la orilla izquierda del Aguas Limpias. No hay obras de defensa.

El alud está señalado en SÁENZ-ALAGÓN (1994) y DGA (1996), identificado respectivamente como Gállego – Aguas Limpias 331 o 78 – alud de Las Fajas (Fig. 2a y 2b). El primer estudio cartografía el alud por el barranco hasta las fajas de riego. El segundo indica que arranca a 2650 m

y desciende hasta 1438 m. La zona de inicio tiene una superficie de 61,163 ha y un perímetro de 4648,167 m. Indica, además, que en su tramo final sale fuera del barranco y acaba en la misma cola del embalse de La Sarra.

EL ALUD DEL DÍA 23 DE ABRIL DE 2008

Hacia las 12 horas del 23 de abril de 2008, en un día de fuerte calor relativo, se desencadenó una avalancha que arrancó en las proximidades de la cima. Dejó cicatrices típicas de alud de placa y claras características de alud de fondo. La figura 3 presenta la ortofoto del Sistema de Información Territorial de Aragón (SITAR) en la que se presentan las zonas de salida, recorrido y depósito del presente alud.

La zona de salida, medida mediante ordenador, tiene una superficie de 22,62 ha y un perímetro de 2635 m. La pendiente media de la zona de sali-

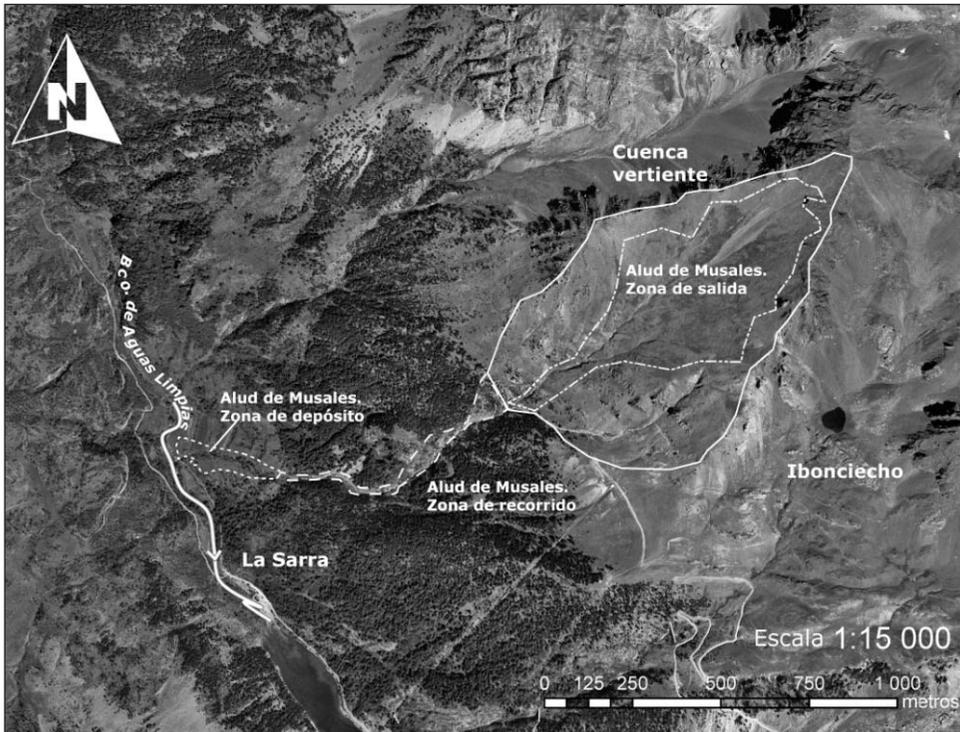


Fig. 3. Planta topográfica del alud. Modificado de SITAR.



Fig. 4a. Zona de salida del alud, desde el fondo del valle.



Fig. 4b. Zona de salida desde la cima Foratata. Foto: GMAM.

da es del 69% (34,5°). La zona de recorrido es una canal encajada, barranco en verano, de una pendiente media del 50% (26,6°) que se inicia dentro de la zona de salida. La zona de depósito es el cono torrencial abancalado. Su pendiente media es de 23,4% (13,4°). La longitud máxima en la planta es de aproximadamente 2000 m. El desnivel máximo de 1100 m. La pendiente media del 55% (28,8°).

Como se ha señalado, en el día de la avalancha, el manto nival era continuo por encima de la cota 1800. En la zona de estudio, el bosque llega hasta los 2000 metros. La fractura del alud del 23 de abril de 2008, medida sobre una imagen tomada desde la cima de Foratata, tiene una longitud de 1374 m. Ha movilizado preferentemente la nieve de la cara norte del valle, y la cicatriz ha sido detenida parcialmente por efecto de algunos pitones rocosos (Figs. 4a y 4b).

El alud limpió un canal de grandes dimensiones en la zona de salida. En el barranco se organizó como una masa extrusionada. Barrió gran parte de la canal, arrastrando tierra, rocas y árboles en un efecto bulldozer (Fig. 5). Este comportamiento erosivo es típico en aludes de nieve pesada. Probablemente, el encajamiento del barranco e incluso la gran cicatriz de la zona de salida tienen este origen.

El canal, bastante encajado, presenta sinuosidades donde la nieve descendente experimentó desplazamientos laterales y rotaciones parciales sobre su eje. En el canal (Fig. 5) se observan restos del alud varios metros

por encima del nivel final de nieve. Apparently, the majority of the avalanche moved as a solid mass towards the cone. In the most pronounced curve, with an angle close to 120° , part of the slide has remounted the wall of the channel affecting the forest (Fig. 6).

In the cone, the slide expanded and broke apart as a consequence of the braking by trees and benches. Observations in situ, and the figure 6, suggest that the initial front mass, rich in debris, formed the northern part of the deposit. Various abandoned fronts, such as the one in figure 7, indicate that the slide fragmented in a complex way, into at least 4 subparallel cords that seem to follow a north-south order. The push of the mass and braking of the laterals produced important longitudinal scars of the type scissor (Fig. 8) where the inner mass, cleaner, in its advance managed to shed part of the lateral envelope.

From photographs taken on April 23 and 24, a first planimetry was carried out on an orthophoto. A deposit of 2.06 ha was obtained. On April 30, a survey was carried out using a differential GPS (TOPCON HIPERPRO TX/RX GGD; RTK with Glonass). The surface occupied this day by the snow, up to the arrival channel, is 20 493 m².



Fig. 5. Pinos arrancados en el canal de movimiento.

El mismo día 30, se intentó realizar una estimación sistemática del espesor de nieve mediante sonda de aludes. Se encontraron problemas debido a la abundancia de nódulos de nieve endurecida, madera, barro y piedras. Además, la sonda de 4 m de longitud quedó corta en muchos puntos. Con los datos y criterios visuales se realizó la siguiente estimación: 30% (espesor medio, 6 m), 20% (4 m), 15% (3 m), 15% (2 m), 10% (1 m), 10% (zona interior sin nieve). A partir de la medición superficial se estima un volumen de 70 700 m³. La superficie de la avalancha era muy irregular, con bloques de nieve endurecida de tamaño métrico. La “nieve” tenía aspecto heterogéneo con abundante barro y numerosos huecos, estimados del orden del 20%. Se determinó in situ la densidad de uno de los grandes bloques, refrescado a golpe de pala, por el método de cilindro y pesada. Dio una densidad de 0,78 tm/m³. Descontado el porcentaje de huecos estimados supone una densidad media de 0,62 tm/m³. La masa de nieve en el cono era de 43 834 tm.

El alud arrasó aproximadamente un par de centenares de pinos silvestres, de una edad de unos 30 años. La mayor parte crecían en los laterales en la zona de remonte, zona final del canal (Fig. 3) y ápice del cono.

RECURRENCIA DEL ALUD

Se han recogido informaciones orales sobre otros episodios de este alud. No había llegado hasta el río desde la inauguración de Formigal, hacia 1970 (U. Abajo, comentario personal). Hay noticias imprecisas de que en 1964 cayó, con manto nival hasta el cono final, y llegó a cortar el río. Otra información oral, que necesita confirmación, señala una catastrófica caída que arrasó 50 000 pinos en 1950.

A la vista de esta información se han estudiado las fotografías aéreas del “vuelo americano” de 1956 (Fig. 9). Muestra un claro en el bosque que arranca del codo del canal y sale de este en dirección hacia la cola del embalse de La Sarra. Pudiera ser efecto de la avalancha mencionada de 1950, y razón para cartografiar la traza del alud fuera del cauce del barranco en el estudio de la DGA (1996). El claro se había reforestado y no se observa en la ortofoto, tomada en julio de 2000. Como se ha señalado, en el alud de 2008 la nieve también ha saltado en este punto.



Fig. 6. Zona de llegada del alud del día 23 de abril de 2008.



Fig. 7. Frente abandonado de la avalancha, en posición lateral (norte).



Fig. 8. Cizalla interior en la masa del alud.

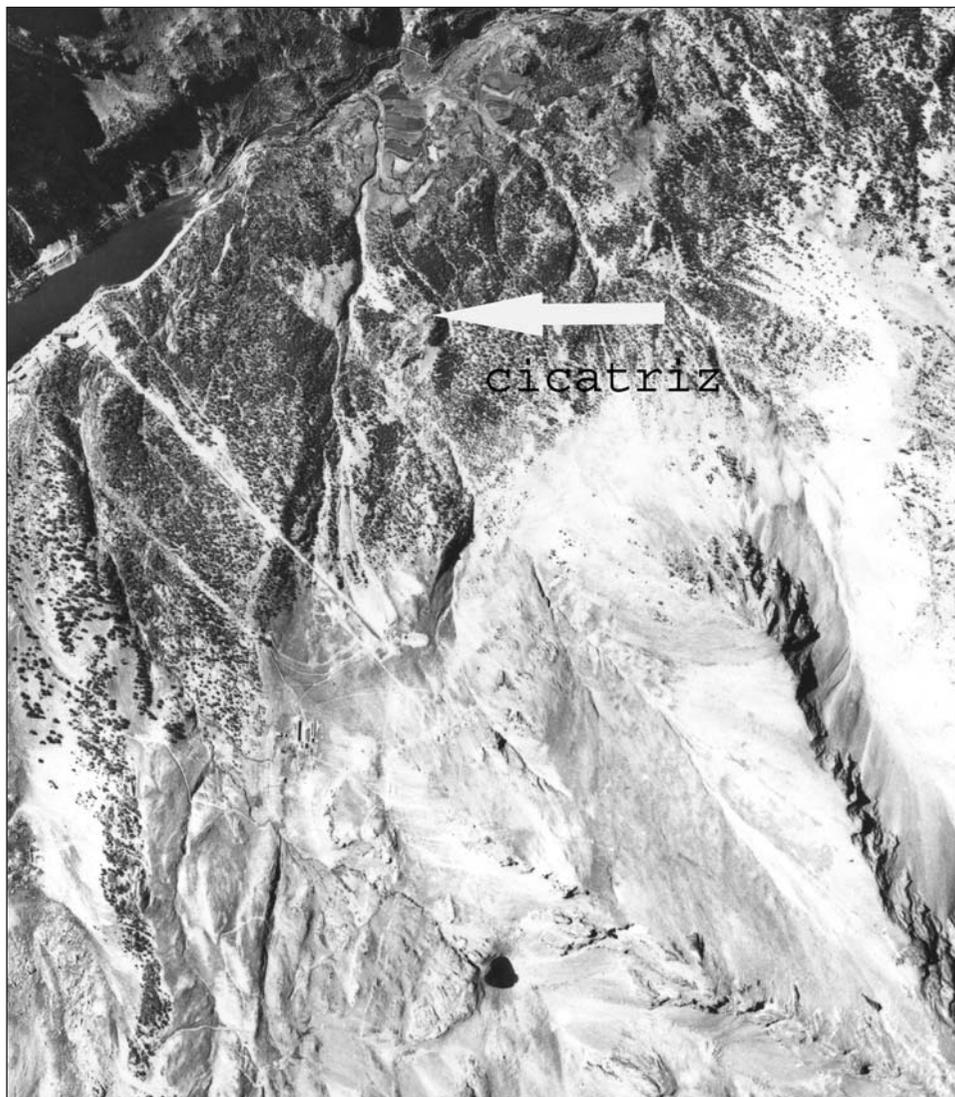


Fig. 9. Cuenca del alud de Las Fajas, aerofotograma. Septiembre de 1956.

La comparativa de aerofotos sugiere también una variación en la planta del cauce del barranco. Por la forma en lengua de la modificación no puede descartarse un deslizamiento de ladera.

CONCLUSIONES

Intensas nevadas en la primavera de 2008 ocasionaron una pequeña crisis de avalanchas en la zona norte de Huesca. Una de ellas, de tipo mixto placa-primavera, en La Sarra (Sallent de Gállego), movilizó 70 000 m³ de nieve. Por la recurrencia de este tipo de fenómenos es aconsejable profundizar en el estudio y cuantificación de estos procesos en el Alto Aragón. Como sugerencia, a la vista de la creciente urbanización de la montaña, sería bueno mejorar el inventario y la cartografía de este peligro, realizando vuelos de helicóptero tras fases de crisis para inventariar los aludes que arrancan por encima del límite del bosque. Por último, es interesante estudiar sistemáticamente los aludes de grandes, cubiendo la masa desplazada, la energía desarrollada y el posible periodo de retorno. Todas estas actuaciones se realizan de forma sistemática en otros territorios limítrofes afectados por aludes que disponen de una importante información de cara a la ordenación territorial en las zonas potencialmente afectadas por este fenómeno.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Franco di Persio, la noticia sobre el alud. A Ursicino y David Abajo, guardas del refugio de Respomuso, información sobre esta y otras avalanchas. Resaltamos la ayuda de Ángel Jarne. A M. Suárez, del Grupo Militar de Alta Montaña, nuestro agradecimiento por sus fotos tomadas el mismo día del alud desde la cima del pico Foratata. Ignacio González Albizua, Manuel Luis Avellanas, Enrique Capella y Miguel Bernabé nos enviaron más fotos del mismo alud.

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, J. A.; HURTADO, R.; FÁBREGAS, S., y POLO, C. (2008). Avalanchas de la cara norte de la sierra de Guara: primera aproximación. *Lucas Mallada*, 13: 107-120.
- DGA (1996). *Los aludes en el Pirineo aragonés. Planificación de la prevención y defensa*. Naturaleza y Tecnología Aplicada. 2 tomos + 12 planos.
- ITGE (1989). *Mapa geológico de España 1: 50 000. Hoja 145. Sallent*.

- JULIÁN, A., y CHUECA, J. (1999). Cartografía de zonas probables de aludes en el valle de Ordesa (Pirineo aragonés). *Geographicalia*, 37: 73-86.
- LAMPRE, F. (1998). *Estudio geomorfológico de Ballibierna*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. 200 pp.
- LEO, E., y CUCHÍ, J. A. (2004). Los aludes en el Alto Aragón. *Lucas Mallada*, 11: 131-158.
- LÓPEZ, R., y MIJANGOS, J. (1994). Nieve y avalanchas. *Revista de Obras Públicas*, año 141, nº 3335: 61-74.
- LÓPEZ, R.; SARASA, A., y OLLER, P. (1997). Caracterización, simulación y prevención de aludes en el barranco de Secras. Túnel de Somport (Huesca). *IV Simposio nacional sobre taludes y laderas inestables*. Granada: 703-717. [[/web/gcontent/pdf/pubtec/1997_1998/1997_lopez_et_al_caracterizacion.pdf](http://web/gcontent/pdf/pubtec/1997_1998/1997_lopez_et_al_caracterizacion.pdf)].
- 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. T. (1993). *Memoria de la cartografía 1: 25 000 de localización de zonas probables de aludes en el cuadrante II de la hoja 144, de Ansó*. ITGE.
- SÁEZ-ALAGÓN, M. T. (1994). *Estudio del medio físico y de sus riesgos naturales en un sector del Pirineo central. Tomo 7: Peligrosidad de aludes*. 93 pp. + 6 mapas.

AVALANCHAS DE LA CARA NORTE DE LA SIERRA DE GUARA: PRIMERA APROXIMACIÓN

José Antonio CUCHÍ¹
Rocío HURTADO²
Santiago FÁBREGAS²
Carlos POLO^{2,3}

RESUMEN. — Dada su naturaleza montañosa, los aludes de nieve forman parte de los riesgos naturales del Pirineo de la provincia de Huesca. Sin embargo, no hay información sobre este peligro en el Prepirineo. El núcleo central de la sierra de Guara, la mayor altura de esta cordillera, presenta una escarpada cara norte. A su pie se encuentra un enorme talud de crioclastos, colonizado por un pinar en su parte inferior. El bosque muestra varias grandes cicatrices características. Otros criterios de campo e información visual y local revelan la existencia de avalanchas de nieve en Guara. Basándose en ortofotos y mapas DGN, el presente trabajo realiza un estudio preliminar sobre las zonas de salida de aludes y sus principales características topográficas. Las avalanchas parecen, principalmente, ser de tipo nieve húmeda.

ABSTRACT. — Given its mountainous nature, snow avalanches are part of the natural risks of the Pyrenees of the Huesca province. However, there is not information on their occurrence at the Prepyrenees. The central nucleus of the sierra de Guara, the highest elevation of this range, shows a step north

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

² Pirinea. Consultores Técnicos. Santo Grial, 4, 3º izda. E-22003 HUESCA. rhurtado@pirinea.com, sfabregas@pirinea.com

³ carlospolojulian@gmail.com

face. At the feet, there is a huge talus of cryoclasts colonized at the lower part by a pine forest. The forest shows several big characteristic scars. Other field criteria and visual and local information shows the existence of snow avalanches on Guara. Based on aerial ortophotographs and DGN maps, the present paper carry out a preliminary job on the starting areas of the avalanches and their main topographical characteristics. The snow avalanches seem to be mainly of wet snow type.

KEY WORDS.— Snow avalanche, Pyrenees, Guara, Huesca (Spain).

INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre avalanchas de nieve tienen un claro interés en la provincia de Huesca donde, entre 1953 y 2005, causaron 57 muertos, 28 heridos de cierta consideración y alcanzado, al menos, a otras 80 personas que resultaron ilesas (LEO y CUCHÍ, 2004). Además, hay que añadir importantes daños materiales en la estación ferroviaria de Canfranc, hoteles de Astún y Balneario de Panticosa, así como los periódicos cortes en la carreteras A-138, entre Bielsa y la frontera francesa, y en la A-139, desde Benasque al Hospital del mismo nombre.

Es conocido que la zona favorable para las avalanchas, en el Alto Aragón, se sitúa entre la frontera francesa y la vertiente norte del gran armazón calizo de la cordillera, desde Peña Ezcaurre por Aspe, Tendeñera, Monte Perdido y Cotiella al Turbón. En esta zona se han centrado casi la totalidad de los autores que han trabajado el tema en el Pirineo oscense. Por ejemplo, TOMICO (sin fecha), SÁEZ ALAGÓN (1993, 1994), DGA (1996), LEO (2000), LÓPEZ-GUARGA y MIJANGOS (1994), LAMPRE (1998), RODÉS (1999), JULIÁN y CHUECA (1999), LÓPEZ-GUARGA y SARASA (2000). Aunque todas las zonas con peligro⁴ medio-alto parecen estar detectadas, todavía carece Aragón de una cartografía de detalle como la disponible en Cataluña a escala 1: 25 000.

Existen, sin embargo, una serie de zonas de peligro, menos conocidas, que se encuentran al sur de la mencionada barrera. En el límite meridional de la barrera caliza hay aludes en el valle alto de Aísa,⁵ en el barranco del

⁴ Riesgo es el producto de peligro (existencia objetiva de avalanchas) por frecuentación (presencia humana).

⁵ Corta la pista asfaltada que lleva al refugio de Saleras, en la cabecera del río Estarrún.

puerto de Biescas y en Punta Llerga. En la interesante cara oeste de esta última montaña, frente a la boca sur del túnel de las Devotas, los aludes descienden por dos canales conocidas como *del Omprio* o *Rebudé* y *de María Caguera* o *Peneta*; llegan con alguna frecuencia al Cinca, cortando las cabañeras vieja y nueva de Chistau, y su estruendo se oye desde Badaín (F. Puyalto, comentario personal).

Existen otras zonas, aún menos estudiadas, que también presentan un peligro objetivo de aludes, deducido de observaciones morfológicas y forestales. Una de ellas son las alomadas sierras sobre materiales del flysch que se extiende al norte de la canal de Berdún y de la Val Ancha. Cubiertas de bosque en el pasado, el pastoreo de ovino transformó cumbres y laderas en superficies herbosas favorables al deslizamiento de nieve. Se conocen avalanchas importantes en el valle de Aísa, en la sierra de Limes, que cierra el Sobremonte de la Tierra de Biescas, y también en la cabecera del torrente de Los Meses en Canfranc. En este último, en la morrena que lo separa del barranco Aguaré, existe una repoblación de pino negro (*Pinus uncinata*), realizada a inicios del siglo XX, donde numerosos árboles muestran una característica inflexión por trincadura, aproximadamente un metro por encima del suelo, resultado de una avalancha hoy aparentemente controlada por el bosque. Un poco más al sur, en el entorno de Jaca, el recién fundado *Pirineo Aragónés* publicaba, en 1883, la noticia de una importante avalancha en la cara norte de Oroel. En 1978, un alud atípico descendió por la ladera del Rapitán y afectó al abastecimiento de agua de dicha ciudad.

Otra área detectada de peligro es la sierra de Guara, zona culminante del Prepirineo y sobre la que no hay ningún estudio sobre avalanchas. En esta área se centra el presente trabajo.

LA SIERRA DE GUARA

La sierra de Guara constituye la zona más elevada del Prepirineo. En sentido estricto se extendería entre los cauces del Guatizalema y del Alcanadre, el valle de Nocito al norte y el arranque del Somontano, por el sur. El espinazo de la sierra está formado por las características cumbres de Fragineto o Fraginito (1749 m), tozal o puntón de Guara (2077 m) y Cabeza

de Guara (1870 m). Entre los dos primeros se encuentra el collado de Petreñales.⁶ Entre los dos últimos, situados a algo más de 3 km, se encuentran las cumbres menores de Vallemona y Cubilas.

La geología de la sierra ha sido objeto de tres grandes estudios regionales: geomorfología por RODRÍGUEZ VIDAL (1986); hidrogeología por SÁNCHEZ-NAVARRO (1988); geología estructural por MILLÁN (2006), así como diversos estudios de detalle. En forma sucinta, esta sierra es predominantemente caliza (*Fm. Adraen-Bona*, del Cretácico superior, y *Fm. Guara*, del Eoceno medio). Hacia el sur presenta edificios conglomeráticos (mallos de San Cosme, Formiga y Chaves), picos menores calizos (Arnabón, Montidinera) cortados por cañones y valles de cierta entidad: Las Valles, Calcón, Fabana, Yara, Formiga. En la abrupta caída hacia el valle de Nocito, por el norte, da paso a areniscas y arcillas continentales del Oligoceno, mucho menos resistentes. En las calizas existen importantes fenómenos kársticos, con un drenaje subterráneo hacia las surgencias de Balaguer (Alcanadre), Solencio de Bastarás (Formiga) y Pillera (Guatizalema).

No hay ninguna estación meteorológica en altura. Se estima que la precipitación, en las cimas, puede alcanzar los 1400 mm (DEL VALLE, 1996). Las precipitaciones invernales suelen ser en forma de nieve y es normal que persistan mantos nivales durante algunos meses del invierno y de la primavera, sobre todo en la cara norte. Observaciones puntuales en la cruz de la cumbre, y los problemas en las antenas de radio del repetidor del tozal de Cubillas hacen pensar que hay, con cierta frecuencia, precipitaciones de nieve húmeda. El cierzo favorece la formación de cornisas de nieve en el arranque norte de la cresta cimera. Ocasionalmente la nieve llega a ocultar la cruz cimera, que supera los dos metros de altura.

La topografía de la zona alta de la sierra tiene una fuerte disimetría en un transecto este-oeste. En la zona oriental, al pie del, relativamente, suave cerro del Cabezo se encuentran los grandes llanos de Cupierlo, enorme campo de dolinas. De aquí se desciende hacia el norte por el graderío de vallonadas de Fenales y Can de Used hasta el valle de Bentué de Nocito. Al este de Cupierlo se encuentra el enigmático valle de Los Abeles, con forma

⁶ Quizás deba su nombre a que, en sus cercanías, hacia la cara sur de Guara, aparece sílex.

de U, tradicionalmente calificado como un polje con control estructural, ubicado en la terminación periclinal de un anticlinal.

Sin embargo, entre los Abeles y el collado de Petreñales se encuentra un sector de fuertes pendientes, que arranca en la cresta del puntón y que desciende vertiginosamente hacia el barranco de la Pillera, situado a 1050 m s. n. m. Solo la cresta de la Mallata de Ferrer, con el pequeño collado de Chemelosas (1367 m), ofrece un rellano local y un agradecido descanso del camino. Esta zona de gran energía está recubierta en su parte superior por una característica glera periglaciaria, de cantos calizos, que alberga diversas especies vegetales, alguna endémica y otras raras, como *Cochlearia aragonensis* y *Aquilegia viscosa* subsp. *guarensis* (MONTSERRAT, 1986). La zona inferior está colonizada por pinar en el que se observan una serie de indentaciones de la glera. Esta continúa bajo el bosque hasta prácticamente el barranco de la Pillera. En ocasiones aflora cementada, como se observa en Fuente Espátula.

Este enorme canchal periglaciario es el que presenta mayores dimensiones entre las numerosas pedreras presentes en la sierra.⁷ A pesar de su pendiente, el dominante color gris de la glera sugiere una cierta estabilidad, frente a los cantos de color más pardo, de reciente movimiento. Sin embargo, se observan algunas coladas recientes. Arrancan y están más definidas en la llegada de las canales procedentes de las cabeceras de cuenca situadas en los cortados calizos de la cresta, formadas por estratos con buzamiento norte.

Un análisis preliminar de las características hidrológicas de estas cuencas del farallón sugiere que estas son permeables por karstificación, y que tienen dimensiones modestas para producir grandes avenidas superficiales que superen, sin infiltrarse, la franja de gleras. Por otro lado, la ausencia de grandes bloques, en las citadas indentaciones en el pinar bajo, parece descartar el efecto de caída de rocas.

En los árboles de la linde del bosque con la glera, observaciones de campo muestran efectos similares a los que se presentan en la zona de aludes

⁷ Los canchales de Guara están poco estudiados. Hay, por ejemplo, edificios de alguna importancia, ahora fósiles, en la Chasa de Rodellar, Costera de Otín, barranco de la Glera, al norte de Cheto, carreteras de Erípol a Almazorre y de Sarsa de Surta a Las Bellostas.

del alto Pirineo: cicatrices en troncos, árboles abatidos, ausencia asimétrica de ramas en la zona baja.

En la actualidad, Nocito y las localidades próximas están prácticamente deshabitados durante gran parte del año (DE LA CALLE y MORÁN, 1994). Sin embargo, se han obtenido noticias sobre aludes en la cara norte de Guara, conocidos localmente como *eslices*. Se conserva el testimonio de un importante alud, a inicios del siglo XX, que proporcionó abundante leña (J. Gabarre, comentario personal). El mismo informante señala fases de aludes en mayo de 1984 y febrero de 2003. En abril de 2006, uno de los autores del presente trabajo observó restos de una avalancha que había llegado a la zona de matorral (Fig. 1).

Estas evidencias, combinadas con un primer análisis de las características de las cuencas de salida en el farallón calizo y de las indentaciones presentes en el bosque indican que la zona norte del tozal de Guara es zona de avalanchas. El presente trabajo realiza un primer análisis de este peligro.



Fig. 1. Restos de alud en la cara norte de Guara a 1500 m s. n. m. Abril de 2006.

ANÁLISIS DEL PELIGRO DE AVALANCHAS EN LA CARA NORTE DE GUARA

Para el presente estudio, la zona de interés en la cara norte de Guara se subdivide en tres zonas altitudinales. La más elevada corresponde a las cuencas en el farallón rocoso, coronado por la cresta somital. Este está parcialmente colonizado, sobre todo en la zona oeste, por pino negro (*Pinus uncinata*). Bajo esta se encuentra la glera desnuda, colonizada por los endemismos citados y, más abajo, comienza el bosque de pino royo o silvestre (*Pinus sylvestris*), acompañado por algunas hayas (*Fagus sylvatica*) y quejigos (*Quercus* sp.). En el sotobosque dominan el bucho (*Buxus sempervirens*) y la senera (*Amelanchier ovalis*).

A partir de ortofotos, con tamaño de píxel de 0,5 por 0,5, y ficheros topográficos DGN del SITAR del Gobierno de Aragón, se han definido hasta 17 cuencas de salida de avalanchas en el farallón calizo, que se muestran en la figura 2. La figura 3 esquematiza esta imagen. Además de las cuencas de salida, presenta información sobre la zona de gleras y el bosque.

La acumulación de nieve se puede producir por innivación directa o arrastre por viento desde la cara meridional, cuya zona superior está desprovista de arbolado y parcialmente recubierta de erizón (*Echinopartum horridum*), que tiene una limitada capacidad de anclado del manto nival. Los depósitos de nieve afectados por el cierzo son comunes durante el invierno en las zonas de collado. Como se ha señalado, las cornisas de la cresta pueden alcanzar un volumen importante.

La mayoría de las cuencas se inician en la cresta cimera. Se presentan contiguas y se definen con claridad, separadas por crestas menores. La excepción es la número 17, que aparece algo aislada hacia el este y que se ha incluido porque bajo ella se percibe una antigua cicatriz en el bosque. En esta se han estimado dos subcuencas de salida. Una inferior, en el farallón, y otra complementaria en la ladera situada por encima y que conecta a este con la cresta. Por pendiente, se considera posible que el tramo superior puede actuar ocasionalmente como zona de salida.

Bajo las canales se encuentra la gran glera, cuyos materiales proceden de la crioclastia de las calizas del Eoceno del farallón rocoso. Parece evidente que la gran masa de clastos se originó bajo condiciones más frías que las actuales y podría considerarse como un indicador paleoclimático.

El canchal presenta heterogeneidades en el tamaño y clasificación de cantos, cuyo estudio sobrepasa los objetivos del presente trabajo. Con independencia de procesos de movimiento lento tipo *creeping*, no cuantificados, solo una pequeña parte del material suelto presenta, por su coloración más rojiza, aspecto de movimiento reciente formando cordones en continuidad con las canales de aludes que arrancan en el farallón.

Toda la glera, desprovista de vegetación de cierta envergadura, es zona de transporte de avalanchas, procedentes de la zona superior. No se presenta una canalización definida como la zona superior y las trayectorias se definen por elevación en retroceso desde las cicatrices del bosque. Aparentemente, las avalanchas de algunas pequeñas canales pueden tener trayectorias comunes en esta zona. Por el contrario, las avalanchas de la cuenca número 8, que es la de mayor tamaño, presentan una difluencia en el inicio de un gran cono de glera. La rama que se desvía hacia el oeste, de mayor entidad, llega hasta el camino de la Mallata de Ferrer, descendiendo desde 2000 hasta 1225 m de altitud.



Fig. 2. Ortofoto de la cara norte de Guara.

El bosque es la zona de parada de los aludes más importantes a la vista de las características cicatrices, muy visibles desde la pardina de Orlato. La figura 4 presenta a mayor escala una imagen de la zona central de avalanchas. A la vista de las dimensiones de los daños forestales parece probable que, con periodo de retorno alto, también se moviliza nieve de la zona de gleras. Así, por ejemplo, las cuencas 6 y 7 no parecen tener suficiente superficie, por ellas mismas, para producir aludes que afecten al bosque que se encuentra bajo ellas. Es cierto, sin embargo, que son los de mayor pendiente. Por la cicatriz asociada, probablemente sea la cuenca 5 la que más nieve aporte en el farallón y también más nieve recoja en la zona de glera, aumentando el volumen de nieve transportado y su consiguiente efecto destructor.

A partir de la información mencionada, mediante ArcGis se han determinado algunas características topográficas de los aludes identificados en la

Tabla I. Principales características topográficas de avalanchas de nieve en la cara norte de Guara.

<i>Número</i>	<i>Superficie (m²)</i>	<i>Longitud máxima de aludes (m)</i>	<i>Altura superior (m s. n. m.)</i>	<i>Altura inferior (m s. n. m.)</i>	<i>Pendiente media (%)</i>
1	22 414	730	1985	1510	65
2	9789	735	2005	1510	67
3	38 646	1040	2060	1345	69
4	27 563	1270	2070	1230	66
5	25 379	1250	2055	1230	66
6	5775	610	1850	1230	102
7	8634	500	1805	1230	115
8	95 249	1290	2065	1245	64
9	21 951	815	2030	1420	75
10	22 067	835	2010	1420	71
11	8643	775	1870	1370	65
12	30 132	855	1970	1370	70
13	10 767	640	1880	1410	73
14	7543	606	1855	1410	73
15	6557	550	1815	1405	75
16	9397	500	1790	1405	77
17	24 431	580	1690	1285	70
17'	112 288	1100	1850	1285	51

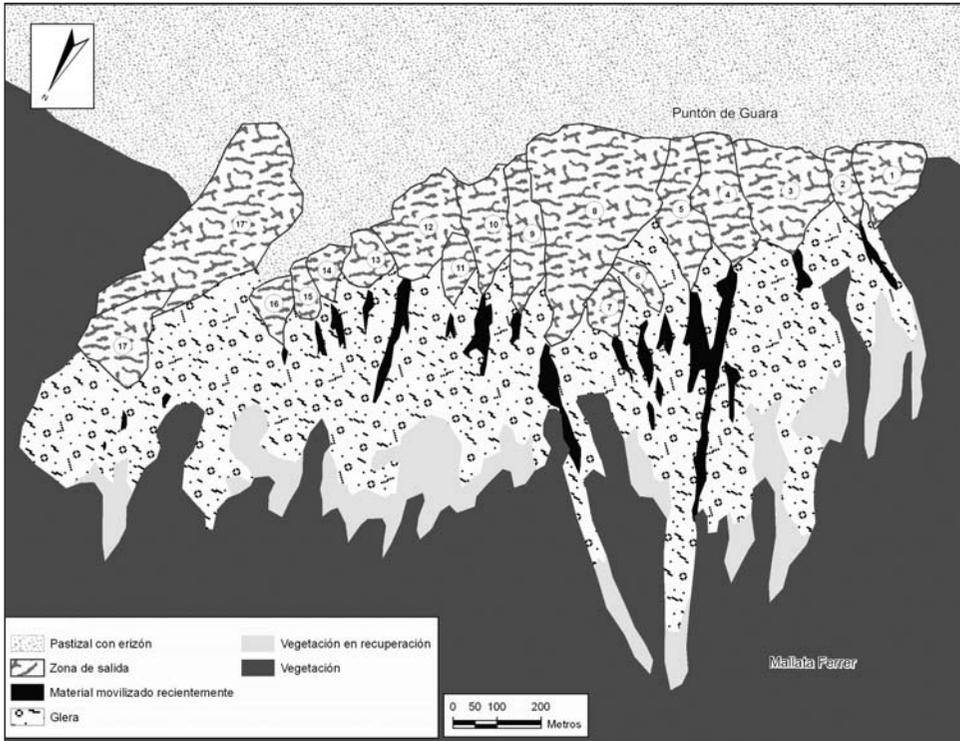


Fig. 3. Esquema de las canales de salida, zona de glera y trazas de aludes en la cara norte de Guara.

figura 2 y que se presentan en la tabla I. Dado que su canalización es solo parcial, restringido al farallón, se ha determinado la superficie de las diversas cuencas de almacenamiento y salida. También se han determinado las cotas máxima y mínima, longitud de recorrido y pendiente del terreno de avalancha para los aludes asociables a cada cuenca. Son estimaciones sobre fotogrametría aérea y son magnitudes extremas que, evidentemente, corresponden a acontecimientos singulares con muy alto periodo de retorno.

En todo caso se observan desniveles de cierta importancia, hasta casi 800 metros y recorridos que superan el kilómetro de distancia.

Como se observa en las figuras 2 y 4, algunas de las cicatrices forestales están parcialmente revegetadas, señalando la recuperación del bosque tras avalanchas de grandes magnitudes. Los árboles en las lindes muestran características típicas de afección por avalanchas (cicatrices, troncos y

ramas partidas). Al final de estas cicatrices se encuentran árboles arrancados y transportados por la nieve. No se observan bloques de piedra asociados, de modo que pudieran atribuirse estos destrozos forestales a grandes caídas de bloques como se observan en otras zonas del Prepirineo.⁸ Incluso ya dentro de la zona de bosque, en la prolongación de las lenguas deforestadas, se pueden encontrar restos de árboles y arbustos desplazados. Las trazas de mayores dimensiones presentan tramos finales en fase de recolonización vegetal, que se han señalado en la figura 4.

En este sentido, esta cara norte presenta un equilibrio entre avalanchas y bosque. Este último parece colonizar lentamente y en ascenso a las gleras, heredadas de las fases glaciares pirenaicas y ofrece posibilidades para realizar estudios sobre la dinámica de avalanchas. Una fotografía inédita de 1904, muestra muchas de las cicatrices que se observan en la actualidad.

Hoy en día, con las debidas reservas, todo hace pensar que el tipo dominante de avalanchas en la cara norte de Guara, es de fusión, dado que los indicios vegetales y de morfología del terreno sugieren que la mayoría de los aludes se detienen en pendientes elevadas. Es posible que los movimientos recientes de grava que se detectan al pie de algunas canales se deban al movimiento en masa de la nieve húmeda que reexcava el lecho de clastos.

CONCLUSIONES

Existen suficientes indicios para pensar que las avalanchas de nieve son relativamente frecuentes en la cara norte del tozal de Guara, al sur de la zona tradicionalmente considerada de peligro en el Alto Aragón.

Aunque existe un peligro objetivo, es evidente que el riesgo real es bajo, dado que solo se amenaza el camino, muy poco frecuentado en la actualidad, desde la Mallata de Ferrer al collado de Petreñales. Ocasionalmente la glera es frecuentada, en invierno, por montañeros.

Las avalanchas parecen jugar todavía cierto efecto en la movilización de las gleras y en el control de la recolonización de estas por el bosque. Este ofrece posibilidades, por ejemplo a través de la dendrocronología, para el estudio de esta interacción.

⁸ Por ejemplo en la cara sur de la sierra de Bonés.



Fig. 4. Ortofoto de la zona central de avalanchas en la cara norte de Guara mostrando zonas de recuperación de bosque.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos las indicaciones de Francisco Puyalto, de Badaín; de Jesús, Domingo e Isabel Gabarre y Lorenzo Ortas, de Nocito; la ayuda de Ángel Jarne y Elba Alastuey, y la compañía en el campo de Consuelo Arán, Francisco y José Ignacio Fábregas y Castaña.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CALLE, I. de la, y MORÁN, Á. M. (1994). *Cara y cruz en Nocito. El ayer y hoy de una comunidad en la sierra de Guara*. IEA. Colección Cosas Nuestras, 15. 126 pp.
- DGA (1996). *Los aludes en el Pirineo aragonés. Planificación de la prevención y defensa*. Redactado por Naturaleza y Tecnología Aplicada. 2 tomos + 12 planos.
- INSTITUT CARTOGRÀFIC DE CATALUNYA (1997). *Mapa de zones d'allaus de Catalunya 1:25 000*. 1 mapa.
- JULIÁN, A., y CHUECA, J. (1999). Cartografía de zonas probables de aludes en el valle de Ordesa (Pirineo aragonés). *Geographicalia*, 37: 73-86.
- LAMPRE, F. (1998). *Estudio geomorfológico de Ballibierna*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, 11. 200 pp. + 3 mapas.
- LEO, E. (2000). Aludes e infraestructuras: introducción al problema. Reseña histórica en Huesca. *Jornadas de evaluación y mitigación del riesgo de aludes: su impacto en las infraestructuras*. Escuela Nacional de Protección Civil. Huesca. 13 pp.
- LEO, E., y CUCHÍ, J. A. (2004). Los aludes en el Alto Aragón. *Lucas Mallada*, 11: 131-158.
- LÓPEZ-GUARGA, R., y MIJANGOS, J. (1994). Nieve y avalanchas. *Revista de Obras Públicas*, año 141, nº 3335: 61-74.
- LÓPEZ-GUARGA, R., y SARASA, A. (2000). Caracterización, simulación y prevención de aludes en el barranco de Secras. Túnel de Somport (Huesca). *Jornadas de evaluación y mitigación del riesgo de aludes: su impacto en las infraestructuras*. Escuela Nacional de Protección Civil. Huesca. 23 pp.
- MILLÁN, H. (2006). *Estructura y cinemática del frente de cabalgamiento surpirenaico en las Sierras Exteriores aragonesas*. IEA. Colección de Estudios Altoaragoneses, 53. 396 pp. + 2 mapas.
- MONTSERRAT, J. M. (1986). *Flora y vegetación de la sierra de Guara*. Diputación General de Aragón. Naturaleza en Aragón, 1. 334 pp.
- RODÉS, P. (1999). *Análisis de los accidentes por aludes de nieve en España. Una aproximación a la revisión histórica*. Ergón. Madrid. 73 pp.
- RODRÍGUEZ VIDAL, J. (1986). *Geomorfología de las Sierras Exteriores oscenses y su piedemonte*. IEA. Huesca. Colección de Estudios Altoaragoneses, 4. 172 pp.
- SÁEZ-ALAGÓN, M. T. (1993). *Memoria de la cartografía 1/25 000 de localización de zonas probables de aludes en el cuadrante II de la hoja 144, de Ansó*. ITGE.

- SÁEZ-ALAGÓN, M. T. (1994). *Estudio del medio físico y de sus riesgos naturales en un sector del Pirineo central. Tomo 7. Peligrosidad de aludes*. 93 pp. + 6 mapas.
- SÁNCHEZ-NAVARRO, J. Á. (1988). *Los recursos hídricos de las sierras de Guara y sus Somontanos*. IEA. Huesca. Colección de Estudios Altoaragoneses, 27. 336 pp.
- TOMICO, A. (sin fecha). *Índice y evaluación del riesgo de aludes y zonas de influencias en las rutas y actividades montaÑeras en el Pirineo aragonés*. Inédito. 25 pp.
- VALLE, J. del (1996). *El clima del Prepirineo central y occidental aragonés y sus Somontanos*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Serie Investigación, 5. 327 pp.

HIDROGEOLOGÍA DEL PUERTO DE SANTA OROSIA (YEBRA DE BASA, HUESCA)

José Antonio CUCHÍ^{1,2}
José Luis VILLARROEL^{1,2}

RESUMEN. — Los acuíferos en conglomerados son poco frecuentes dentro del Alto Aragón. El más importante es el albergado en el conglomerado fisurado del puerto de Santa Orosia. El presente trabajo describe sus características hidrológicas e hidroquímicas

ABSTRACT. — Aquifers on conglomerates are uncommon in the Alto Aragón. The most important is hosted in the fissurated conglomerates of the Santa Orosia grassland. The present paper describe its hydrogeological and hydrochemical characteristics.

KEY WORDS. — Aquifer, conglomerate hydrogeology, hydrochemistry, Santa Orosia, Aragón (Spain).

INTRODUCCIÓN

La montaña del puerto de Yebra de Basa presenta un claro interés geológico patente en el recorrido por las ermitas, desde la iglesia de Yebra de Basa hasta el santuario de Santa Orosia, como adecuadamente describe BELMONTTE (1999). Los materiales geológicos de la montaña del puerto tienen una

¹ Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A). Edificio Torres Quevedo. C/ María de Luna, 3. E-50071 ZARAGOZA.

² Grupo de Tecnologías en Entornos Hostiles (GTE). Universidad de Zaragoza. cuchi@unizar.es, jlvilla@unizar.es

naturaleza diversa, dentro del Eoceno pirenaico. Su base está formada por materiales margosos marinos, de color gris, muy acarcavados e impermeables. No albergan fuentes salvo rezumes puntuales, en su mayor parte relacionados con modestos acuíferos alojados en los niveles de glaciais, fácilmente reconocibles por su topografía en hombrera y el color pardo de sus suelos.

Hacia la mitad del ascenso del puerto, desde Yebra, a la altura de la pequeña ermita de las Arrodillas hay un neto cambio de materiales geológicos y aparecen los conglomerados de Santa Orosia, del Bartonense superior. Estos dominan la parte superior de la subida, cuyo elemento natural más típico es un gran estrato, conocido localmente como *O Zoque*, que acoge varias ermitas rupestres y por donde se despeña una vistosa cascada. En el puerto, hay un brusco paso litológico a las arcillas y conglomerados rojizos de las facies de Bailín, visibles al este del santuario de Santa Orosia, desde el puerto de Sobas a la Corona y que dan paso al Sobrepuerto. Por el norte, el pico de Oturía es un cabalgamiento que ha situado el flysch de la ribera de Biescas sobre los conglomerados. El empuje también dobló suavemente, en forma de U, al conjunto de la montaña formando un sinclinal de eje este-oeste y probable consecuencia de este esfuerzo tectónico es también la intensa fracturación que presenta el conglomerado.

Los conglomerados de Santa Orosia, junto con los de San Juan de la Peña, Oroel, Canciás y Graus, son los restos de enormes conos torrenciales, testigos de la intensa erosión subaérea que afectó a un Pirineo que aún estaba elevándose durante el Eoceno. Su grava se transformó en conglomerados por reprecipitación de carbonato cálcico, de origen probablemente cercano, y transportados por las aguas subterráneas. En Santa Orosia superan los 300 metros de espesor. MONTES (2002), en su interesante tesis doctoral, describe que están formados por una serie de paquetes masivos amalgamados, con morfologías lenticulares y relativamente extensos, separados entre sí por pequeños tramos lutítico-limosos de coloraciones rojizas. Las capas amalgamadas de conglomerados aumentan de espesor desde la base hasta superar los 10 metros de potencia en la zona alta. El tamaño medio de la grava está cerca de los 10 centímetros. La mayoría de los cantos son de arenisca gris que procede del flysch. En menor medida hay también calizas grises y areniscas silíceas de color pardo, que vienen de la *Fm. Marboré*, del Cretácico de las sierras de Telera y Tendeñera, a ambos lados del estrecho de Santa Elena. También se encuentran fragmentos de sílex.

La erosión posorogénica eliminó los materiales arcillosos que se encontraban sobre el conglomerado. Sobre este, en la actualidad se ha formado un suelo de color amarillento, tiene textura limosa y está descarbonatado. Merecería un completo estudio edafológico.

La transformación de bosque a pasto y la sobrecarga ganadera existente desde la Edad Media hasta la primera mitad del siglo XX produjeron serios problemas de erosión antrópica, a la que estos suelos son muy sensibles. Son típicos los escalones en forma de semilunas, con arrastre de finos por agua y viento. La construcción de pistas para vehículos, insuficientemente mantenidas, ha agravado localmente el proceso.

Tabla I. Algunos datos edafológicos de un perfil de suelo junto a la ermita de Santa Orosia (pista).

<i>Horizonte</i>	<i>pH</i>	<i>Color (seco)</i>	<i>Color (húmedo)</i>
Superior	5,95	7,5 YR 4/3	5 YR 3/2
Inferior	6,17	7,5 YR 5,5/4	7,5 YR 3/4

ESQUEMA HIDROGEOLÓGICO DEL PUERTO DE SANTA OROSIA

Como señala SATUÉ (1988), un elemento fundamental en la historia religiosa del martirio de santa Orosia, es la fuente del puerto. Detectada el agua subterránea por un ángel y aflorada mediante el expeditivo método de “levanta losa”, sirvió para convencer contundentemente al pastor, a quien se le reveló la presencia de los restos, para que dejara el rebaño y trasladara aquellos a Yebra y Jaca. La tradición conserva el lugar de la aparición dado que la adoración de la cabeza el día 25 de junio se hace junto al punto donde brotaba el manantial, hoy reconducido a la actual fuente. Según parece, en el pasado, el paso de la procesión cerca del agua creaba inquietud en los pobres enfermos que la acompañaban al cambiar el color de la imagen.

Esta surgencia, 2009/7/0003 en el catálogo del IGME, es, con mucho, la más importante del puerto y está relacionada con un acuífero de modestas dimensiones. Su estudio tiene cierto interés por su relación con la romería, por su peculiar hidrogeología, y como suministro de agua al puerto. Esta proviene de un tipo de acuífero, de tipo poco frecuente en el Alto Aragón por estar relacionado con la fracturación de conglomerados (CUCHÍ, 1998).

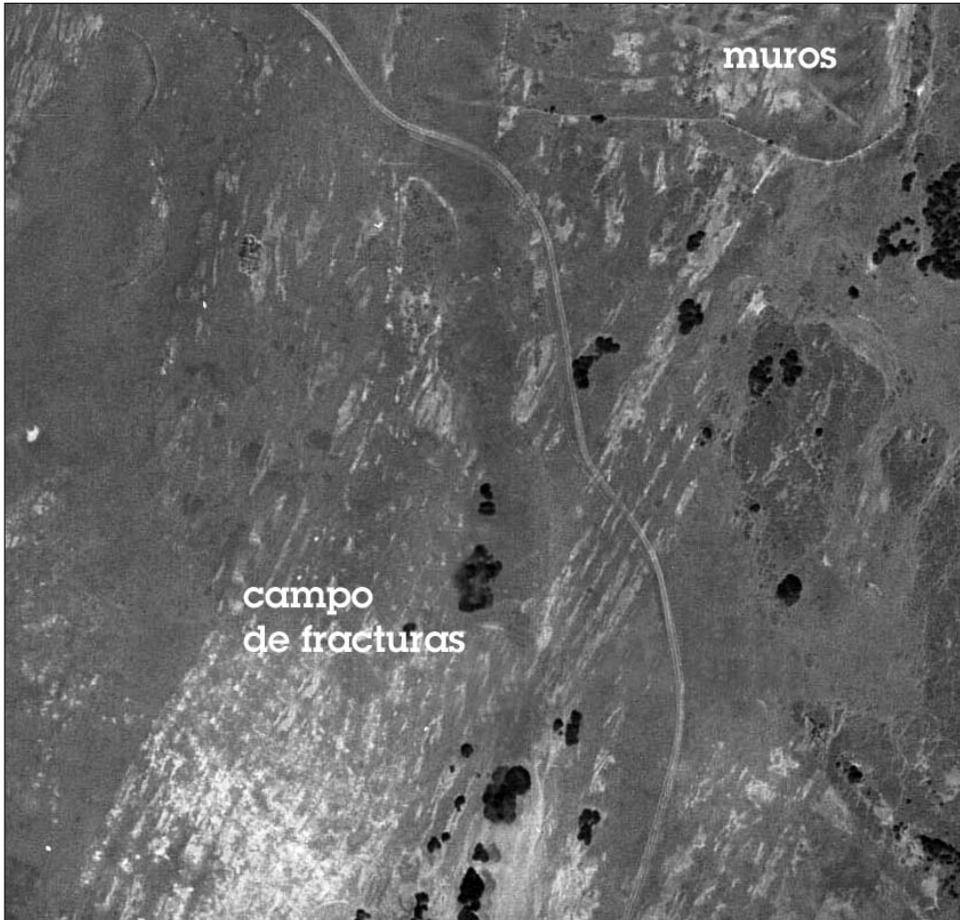


Fig. 1. Campo de fracturas NE-SO en conglomerados en el puerto de Santa Orosia, en el camino de la ermita a La Lera.

En la figura 1 se observa un campo de fracturas, de dirección noreste-suroeste, en los conglomerados, situado en la mala pista que va de la ermita de Santa Orosia a la zona de La Lera, hacia la Mallata de Javierre. A modo de escala, al norte de la imagen aparece una zona de paredes, quizás espaldas de un antiguo panar. Según el SIGPAC, la longitud este-oeste del muro más meridional es de 170 m.

En otras muchas zonas del puerto se puede ver esta misma familia de diaclasas de dirección $N30^{\circ}E$, con una separación entre ellas del orden

de la decena de metros. A juzgar por lo que se ve en O Zoque y en la cueva del puerto pueden llegar a varios metros de profundidad, hasta los materiales arcillosos en los que se excavan las cuevas del camino de ascenso al puerto. Es la más abundante pero no la única familia de fracturas, dado que se intuye otra, de dirección noroeste-sureste, que parece tener mayor control hidrológico.

La fracturación, junto con la relativamente elevada precipitación del puerto, ha favorecido la formación de un acuífero tipo fisurado, donde el agua se recarga y mueve por las fracturas. Pero, además, tiene rasgos mixtos, de otros tipos de acuíferos. La disolución del carbonato cálcico del cemento y de los cantos calcáreos del conglomerado le confiere cierta naturaleza de tipo kárstico. Hay una depresión de ciertas dimensiones, con aspecto de dolina, al noroeste de la Punta del Mallo y también una cueva en el curso inferior del manantial del puerto. A media escala, las fracturas del conglomerado se pueden considerar como un lapiaz estructural. Se observa corrosión en la superficie de los cantos de caliza, pero no se forma un lapiaz propiamente dicho sobre el conglomerado, dado que los cantos se sueltan por disolución prioritaria del cemento y, probablemente, por crioclastia. Esto produce la formación de depósitos secundarios de grava suelta y material limoso de descalcificación que actúan como pequeños acuíferos colgados de tipo detrítico que descargan lateralmente hacia las fracturas colectoras. El conglomerado sano y los niveles geológicos arcillosos actúan como base impermeable.

Los límites del acuífero pueden estimarse con claridad hacia el oeste, en el inicio de las caídas hacia Isún, Satué y Jabierre. Por el norte, esta linde se puede estimar en la ladera meridional de Oturía, donde el flysch margoso, menos permeable, recubre los conglomerados. Es posible, dada la inexistencia de una red fluvial marcada, que la escorrentía de las zonas altas se infiltre en la zona baja de este monte. Por el este, el límite son los materiales margosos rojizos de la *Fm. Bailín*, que forman las coronas que dominan el puerto. Cabría señalar que por este lado los conglomerados quedan confinados por la citada formación y se puede especular sobre un flujo subterráneo lejano hacia el este, asunto que sobrepasa el presente trabajo. Por el sur, el límite natural son las caídas hacia Osán y Yebra. El movimiento general del agua subterránea iría hacia el nordeste, ayudado por el

buzamiento general de los estratos y la segunda familia de fracturas. En una primera estimación se puede asumir que la superficie total del acuífero podría alcanzar los 2 km², que se quedarían en unas 50 ha para el flujo directo hacia la fuente de Santa Orosia y el resto a su arroyo, que forma la cascada sobre las cuevas. La figura 2 presenta un esbozo del área del acuífero que drena la fuente de Santa Orosia, a partir de una gran fractura drenante que también se ha marcado.

Es difícil hacer un balance de agua para este acuífero, dada la inexistencia de datos climatológicos en el puerto y Sobrepuerto. La estación meteorológica más cercana se encuentra al pie de la montaña, en Sabiñánigo. En una primera estimación, la precipitación se puede cifrar en 1000 mm, mientras que la evapotranspiración podría alcanzar los 600 mm. Asumiendo una escorrentía superficial directa superior al 50% restante, se puede pensar en una recarga media del orden de los 200 mm anuales. Esto da un caudal medio de unos 3 l/s, coherente con los caudales estimados. Evidentemente el caudal esta directamente influenciado por la lluvia y fusión de nieve o los periodos de sequía y de helada.

Diversas fuentes aparecen en el puerto. La más importante es la de Santa Orosia. De menor entidad son Fuentañón, Oturía, Sancocobá y la innominada, situada cerca del camino de la procesión. En el monte de Sobas está Baquerizal y la Fuente Corona al otro lado de Oturía, dando vista a Jabierre. En el camino de las ermitas, entre Santa Bárbara y San Blas, se encuentra la fuente A Tosquera, relacionada con una fractura del conglomerado.

El caudal de la fuente de Santa Orosia es variable. Los caudales mínimos invernales se relacionan con los fríos de enero, que hielan el subsuelo. En septiembre de 1993 se midió un caudal de 3,5 l/s. En el mismo mes de 2007 se estimó un caudal inferior a 1 l/s. En deshielo y tras lluvias fuertes el caudal es mucho mayor y desborda, entre la fuente y el ara exterior donde se muestra el cráneo de la santa. Las puntas de caudal se manifiestan aproximadamente a los dos días de lluvias intensas (J. Echevarría, comentario personal).

El agua de la fuente es fría, con datos de 8,0 a 9,7 °C, similar a la temperatura media estimada para el puerto. Es posible que se presenten valores menores en invierno. La conductividad eléctrica sobrepasa los 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C, valor muy típico en aguas subterráneas en calizas del

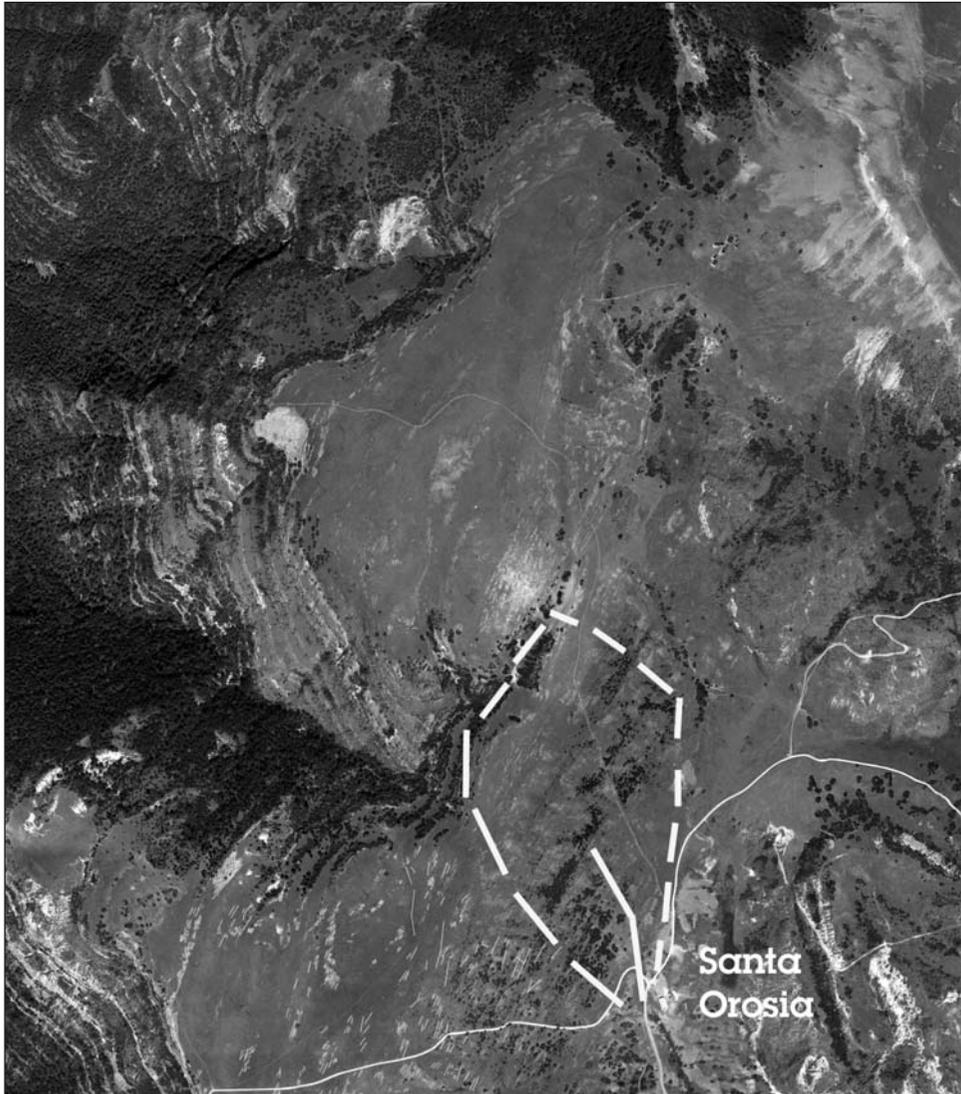


Fig. 2. Límites estimados de la parte del acuífero que drena la fuente de Santa Orosia, y traza del colector subterráneo, sobre ortofoto de SITAR Aragón.

Pirineo y Prepirineo altoaragoneses. A modo de comparación, datos muy similares en temperatura y conductividad se han medido en la Gloriosa de Santa Elena de Biescas. Este valor de conductividad es también típico en Fuenmayor (San Julián de Banzo), en series de varios años.

Tabla II. Algunos datos básicos de campo en la fuente de Santa Orosia.

<i>Fecha</i>	<i>Temp. (°C)</i>	<i>CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C)</i>	<i>Fecha</i>	<i>Temp (°C)</i>	<i>CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C)</i>
16/9/2007	9,7	404	7/10/1992	8,9	–
25/6/2007	9,0	419	2/4/1993	8,0	408
25/6/1999	–	405	25/6/1991	8,5	–

**Fig. 3.** La fuente de Santa Orosia. 25 de junio de 2007.

Se conoce un análisis químico completo del agua de la fuente de Santa Orosia, a partir de una visita realizada el 2 de abril de 1993, con motivo de un estudio de aguas minerales y medicinales de Aragón financiado por la Diputación General de Aragón y el Instituto Geológico y Minero de España. En los datos de campo se observa que el agua presenta pH ligeramente básico (7,242), potencial redox positivo (222,2 mV) y un nivel de oxígeno disuelto de 9,1 ppm, ligeramente por debajo de la concentración de saturación, coherentes con una circulación subterránea somera.

Una muestra de agua tomada en el citado día y analizada en los laboratorios del IGME ofreció los siguientes resultados que se presentan en la tabla III.

Tabla III. Datos químicos del agua de la fuente de Santa Orosia (2/4/1993).
Unidades en miligramos por litro.

Componente	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SiO ₂	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻
mg/l	1	80	4	5,8	248	3	2	1	0,02

Los valores son típicos de la naturaleza del substrato conglomerático del acuífero, donde domina el carbonato cálcico. Su disolución aporta preferentemente iones calcio y bicarbonato. La dureza permanente, expresada en mg/l de CaCO₃, es de 12,8 mg/l. La temporal, en las mismas unidades, de 203,3. La alcalinidad es de 20,33 °f y 11,30 °g (1 °f = 10 mg/l CaCO₃/l, 1 °g = 10 mg/l CaO). La conductividad eléctrica fue de 408 μS/cm a 25 °C en campo y de 371 μS/cm a 25 °C en laboratorio. El residuo seco, a 110° (197 mg/l).

Evidentemente el agua es de tipo bicarbonatado cálcico, como muestra el diagrama de Piper de la figura 4. Mediante utilización del programa informático Aquachem 3.0 se ha obtenido que en cada litro de agua, de la fecha de muestreo, había disuelto 2,545 miligramos de halita (NaCl, sal común), 180,204 mg/l de calcita (CaCO₃), 30,292 mg/l de dolomita (CaMg(CO₃)₂), 5,43 mg/l de yeso (SO₄Ca) y 4,457 mg/l de SiO₂ como cuarzo, que también equivalen a 19,461 mg/l de feldespato sódico (NaAlSi₃O₈). Calcita, dolomita, cuarzo y silicatos variados, incluida mica, aparecen en los cantos del conglomerado. Halita y yeso pueden tener su origen en el polvo atmosférico que precipita la lluvia.

El agua se presenta ligeramente sobresaturada en sílice, e insaturada en calcita, aragonito, dolomita y yeso y saturada en cuarzo mediante la utilización del programa WATEQF del U. S. Geological Survey. El programa compara el cociente de los valores obtenidos analíticamente con los correspondientes al equilibrio en saturación. Valores positivos del logaritmo de este cociente (LOG IAP/KT) indican sobresaturación. Los negativos señalan insaturación y el valor cero corresponde al equilibrio. Para la muestra citada se han obtenido los siguientes valores: yeso, -2,952; aragonito, -3,367; calcita, -0,378; dolomita, -1,955; cuarzo, 0,249.

La insaturación en los dos primeros minerales explica la ausencia de toscas en el inicio del arroyo. Sin embargo, al calentarse a lo largo de este durante el verano, el agua pasa a estar sobresaturada formándose toscas como el tobogán en la entrada de la cueva de Santa Orosia. Este es también el origen del topónimo de la fuente de A Tosquera.

No se ha detectado la presencia de los siguientes iones: carbonato, potasio, litio, fosfatos, amonio, hierro, manganeso, cobre, plomo, zinc, arsénico, mercurio, cromo, cadmio, selenio, aluminio, boro, flúor, sulfuros y cianuro. La ausencia de metales pesados y otros componentes “exóticos”, como flúor y boro, es también coherente con la naturaleza predominantemente caliza del puerto. La presencia de nitritos puede ser achacable a la carga ganadera y lo somero del flujo del agua. Aunque los niveles detectados estaban por debajo de los límites legales, indican una cierta vulnerabilidad del acuífero.

En el agua se determinaron niveles de radioactividad α ($< 0,034$ Becquerelios/litro) y radioactividad β ($0,020 + 0,010$ Bq/l), muy por debajo de los niveles guía admitidos por la legislación vigente y de los valores que se presentan en zonas graníticas cercanas.

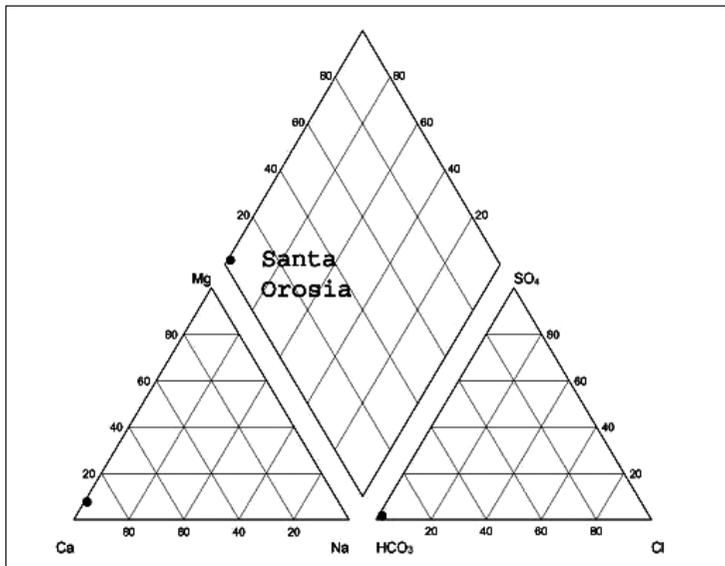


Fig. 4. Diagrama de Piper del agua de la fuente de Santa Orosia.

LA CUEVA DEL PUERTO DE SANTA OROSIA

En la zona final del barranco de Santa Orosia, entre el cruce de la pista y el salto, se encuentra una cavidad conocida de antiguo y relativamente frecuentada, vista la colección de cabos de vela que se hallan en diversos puntos de esta, dado que ha albergado un belén montañero durante varias navidades. En Yebra también se la conoce como cueva O General, nombre de una casa del lugar que quizás tenía propiedades en las cercanías (G. Lacasta, comentario personal).

La boca de la cueva aparece en el mismo barranco, en la zona inferior, entre la pista y la cascada, en las siguientes coordenadas UTM:

Huso 30. X: 724312 Y: 4710263 Z: 1485 m

La cavidad se abre en los conglomerados de Santa Orosia, muy cerca de la transición a las facies de Bailín, en un nivel de material arcilloso de aproximadamente 1,2 metros de potencia. En estiaje, el agua del barranco desciende por un tobogán de toba, aproximadamente por el centro de la boca de la cavidad.

Aunque de modestas dimensiones, la cavidad no carece de algún interés. Por un lado, es una de las pocas cavidades que superan las características de un abrigo, abiertas en los conglomerados del Alto Aragón. Su génesis es singular, caso único conocido en Huesca, dado que se ha formado por vaciado del material fino del estrato arcilloso a partir de flujos de agua por las diaclasas del conglomerado. Esta génesis es diferente de las cavidades de tipo tectónico (Grietas Culivilla, en Riglos; Cendrilla, en Panzano; Cobeta, en San Julián de Banzo), y de tipo kárstico con corriente de agua (Chaves, en Bastarás, y Silencios varios: Bastarás, Santa Cilia, Morrano). Aunque la bóveda de conglomerados es estable, se detecta un incipiente inicio de evolución por caída de bloques, similar a lo que muestran en mayor grado las salas iniciales de Chaves, cueva de los Murciélagos (Vadiello) y La Algrata (Estadilla).

La cavidad, cuya planta se ofrece en la figura 5, presenta una serie de espeleotemas con alguna belleza. Forman varias columnas en la cueva, que siguen alineaciones paralelas a la dirección dominante de la fracturación del conglomerado. Las estalactitas son de cortas dimensiones,

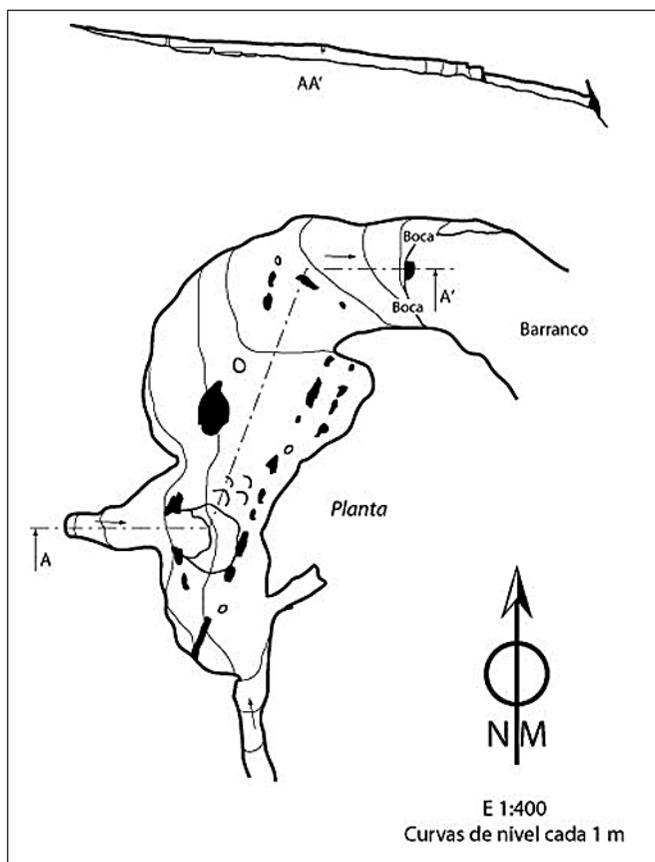


Fig. 5. Plano topográfico de la cueva del puerto de Santa Orosia.

bastantes de tipo macarrón. No se han observado helicititas. En el suelo, en la zona central hay dos grandes *gours*, de gruesas paredes, que llegan a 0,5 m de altura. En descenso, hacia la boca aparecen otros de menor altura, con paredes transversales a las paredes de la cavidad. Parecen inactivos en la actualidad, aunque hay señales de flujo de agua en los sedimentos terrígenos de la sala interior.

Hay varios conos de sedimentos terrígenos en el interior de la cueva. En su fondo, hay dos pequeñas gateras rellenas de material suelto. Parte parece del estrato arcilloso, pero otra parte parece provenir del exterior, por las fracturas del terreno. En uno de ellos aparecen raíces vegetales vivas. Cer-

ca de los grandes *gours* hay otro cono, recubierto de una costra estalagmítica de unos 4 cm de espesor.

El techo del conglomerado parece relativamente estable, aunque cerca de la entrada hay un gran bloque desprendido del techo.

La cueva se encuentra en un estado razonable de conservación, aunque se observan estalagmitas rotas y extraídas, presencia de algo de basura, sobre todo restos de velas así como grafitis, evidentemente en la colada de mayor belleza.

CONCLUSIÓN

El acuífero de Santa Orosia, a pesar de su modestia, tiene unas características mixtas, entre fisurado, kárstico y detrítico, que le confieren una cierta singularidad en las diversas unidades hidrogeológicas del Alto Aragón. Por otro lado, la fuente de Santa Orosia es la de mayor caudal conocido, relacionada con conglomerados, entre las que destacan las del monasterio viejo de San Juan de la Peña y las de las ermitas trogloditas de San Julián de Lierta y San Cosme y San Damián, en Guara.

Las aguas de la fuente presentan una química de tipo bicarbonatado cálcico, insaturadas en calcita y dolomita y solo presentan saturación en sílice. No se han encontrado metales pesados y el nivel de radioactividad es bajo. El acuífero parece bastante sensible a los problemas de contaminación.

La cueva del puerto de Santa Orosia presenta cierto interés y debiera ser protegida de la vandalización incipiente que presenta.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor del trabajo tiene que agradecer profundamente la siempre cordial acogida y compañía de Juan Claver y su familia, especialmente el día de Santa Orosia. Y reconocer también a José Echevarría, de Sabiñánigo, sus conocimientos sobre las fuentes de la zona, y a la Asociación O Zoque, su interés por este tema. Han sido de mucha utilidad las aportaciones de Emilio Gracia, Graciano Lacasta y Enrique Satué.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELMONTE, Á. (1999). *Coronas y zinglos: un viaje a pie por la geología de Serrablo*. Ayuntamiento de Sabiñánigo – IEA. Colección A Lazena de Yaya, 11. 162 pp.
- CUCHÍ, J. A. (1998). Esquema general de las unidades hidrogeológicas en el Alto Aragón. *Lucas Mallada*, 10: 87-105.
- DGA/IGME (1994). *Estudio de aguas minerales y mineromedicinales de Aragón*. Inédito. Varios tomos.
- MONTES, M. (2002). *Estratigrafía del Eoceno-Oligoceno de la cuenca de Jaca (Sinclino-rio del Guarga)*. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. 365 pp.
- SATUÉ, E. (1988). *Las romerías de Santa Orosia*. Diputación General de Aragón. Estudios y Monografías, 6. 287 pp.

**LA FÁBRICA MAGNÉTICA DE LOS LAMPRÓFIDOS ALCALINOS
DEL PLUTÓN GRANITOIDEO DE PANTICOSA.
APLICACIÓN AL ANÁLISIS DE LA ETAPA EXTENSIONAL
DEL MAGMATISMO TARDIVARISCO PIRENAICO
(PROVINCIA DE HUESCA)**

Carlos GALÉ*
Andrés GIL-IMAZ*
Marceliano LAGO*
Óscar PUEYO*
Enrique ARRANZ*
Teresa UBIDE*

RESUMEN. — El plutón varisco de Panticosa está atravesado por dos conjuntos consecutivos de diques de lamprófidos, composicionalmente diferentes y que se emplazaron según direcciones distintas: 1) espesartitas minoritarias, con direcciones N-S, y 2) camptonitas, predominantes, de direcciones O-E a NO-SE. El estudio de ASM refleja las diferencias en la mineralogía magnética entre ambas familias y permite elaborar un modelo temporal de emplazamiento, en relación con el marco estructural, consistente en dos etapas; una primera, de creación de un sistema de diques subperpendiculares bajo el efecto de una compresión generalizada NE-SO, y una posterior, de deformación asociada a una dirección de compresión NO-SE.

* Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. E-50009 ZARAGOZA.
carlos.gale@gmail.com

ABSTRACT. — The Variscan pluton of Panticosa is cross-cut by two compositionally different and temporally consecutive swarms of lamprophyre dykes of Permian age: spessartites with a N-S trend and camptonites with a W-E prevailing trend. The differences in the magnetic mineralogy between the two groups have been revealed by the AMS study of these dykes, making possible to define a two-stage structural model for the emplacement of these dykes. The first stage involves the emplacement of spessartite and camptonite dykes with subperpendicular trends related to a general NE-SW compression. In the second stage, the compression trend changes from NE-SW to NW-SE.

KEY WORDS. — AMS, lamprophyre, Panticosa, Huesca (Spain).

INTRODUCCIÓN

Los diques de lamprófidos son frecuentes en el plutón granítico de Panticosa (Huesca) y han sido objeto de diversos estudios sobre su composición petrológica y geoquímica. GALÉ et alii (2003), LAGO et alii (2004*a, b* y *c*) y GALÉ (2005) ponen de manifiesto la presencia de magmas básicos, de origen profundo, emplazados durante el periodo tardivarisco en una situación de deformación extensional.

El marco estructural de la deformación extensional que afectó a la cordillera pirenaica, a favor del cual se emplazan estos diques, no ha sido objeto de estudios detallados hasta ahora, por lo que resulta un tema de especial interés para el estudio del tránsito del Ciclo Varisco al Ciclo Alpino en los Pirineos.

El objetivo de este trabajo es determinar las características geométricas y cinemáticas del proceso de emplazamiento de estos diques de lamprófidos, mediante un estudio cartográfico y estructural de detalle, así como mediante el estudio sistemático y detallado de su fábrica magnética mediante la técnica de la Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética (ASM).

La técnica de la ASM ha demostrado ser una herramienta de gran utilidad para definir direcciones de flujo ígneo en intrusiones tabulares como diques o sills (ELLWOOD, 1978; HILLHOUSE & WELLS, 1991; ERNST & BARAGAR, 1992; CAÑÓN-TAPIA et alii, 1996; GLEN et alii, 1997; GEOFFROY et alii, 2002).

En la actualidad se emplean dos modelos generales para describir la relación geométrica y cinemática entre la dirección del flujo ígneo y los ejes

principales del elipsoide de susceptibilidad magnética. La aplicación clásica de la técnica de ASM a rocas ígneas asume que la lineación magnética (valor promedio del eje K1), o el valor promedio del eje K2, es paralela al “vector de flujo” ígneo (KNIGHT & WALKER, 1988; ROCHETTE et alii, 1991; STAUDIGEL et alii, 1992; VARGA et alii, 1998; HERRERO-BERVERA et alii, 2001). En el segundo modelo, el vector de flujo se estima a partir de un cómputo geométrico entre los ejes K3 (susceptibilidad mínima) y la perpendicular a la pared de la intrusión (HILLHOUSE & WELLS, 1991; GEOFFROY et alii, 2002; CALLOT & GUICHET, 2003). Esto es porque K1 coincide, a menudo, con un eje de intersección (el eje de zona de dos subfábricas dentro del dique).

En ocasiones se obtienen fábricas magnéticas anómalas, con los ejes K1 no coincidentes con la dirección de flujo o con los ejes K1 y K3 intercambiados. En estos casos, las relaciones, la orientación de los cristales, la dirección del flujo ígneo y las susceptibilidades principales pueden ser explicadas de diferente manera (ROCHETTE et alii, 1991, 1999): *a*) presencia de cristales de magnetita de dominio sencillo (*SD magnetites*), *b*) crecimiento tardío de cristales ferromagnéticos en la dirección perpendicular a las paredes del dique, *c*) efectos de rodamiento (*rolling*) de granos alargados o *d*) presencia de flujo turbulento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El muestreo en campo se ha realizado con ayuda de una perforadora portátil de gasolina, refrigerada por agua. Las brocas empleadas para la extracción, con corona de diamante, tienen un diámetro estándar de 2,5 cm. Se han obtenido cilindros orientados (con ayuda de una brújula) de roca de entre 6 y 15 cm de longitud. Dichos cilindros han sido posteriormente cortados y resigladados para obtener especímenes estándar con una relación altura/diámetro de 0,82 y volumen de 10,3 cm³.

El estudio de la fábrica magnética se ha centrado en dos diques de escala métrica (Fig. 1) representativos de las dos familias establecidas: espesartitas y camptonitas. En el primero, un dique de espesartita de orientación media 008, 76 E, donde se obtuvieron un total de 36 especímenes de las cuales 20 corresponden a la pared occidental y 16 a la oriental. En el segundo

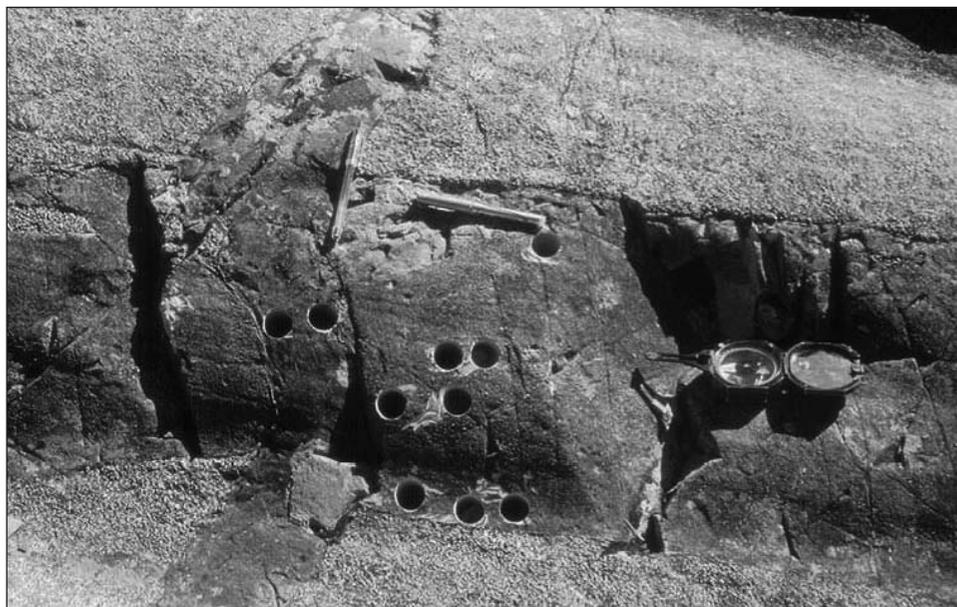


Fig. 1. Aspecto de campo de los diques muestreados.

dique, de composición camptonita, con una orientación subperpendicular pero modificada por deformación posterior, las medidas de la ASM se realizaron sobre un total de 13 especímenes repartidos uniformemente en sus paredes septentrional y meridional.

El estudio de la composición mineralógica se ha realizado mediante una microsonda electrónica, modelo JEOL-JM6400, en el Centro de Microscopía Electrónica Luis Bru de la Universidad Complutense de Madrid.

La medida de la ASM se ha realizado en un susceptómetro KLY-03 (utilizando un puente de baja intensidad de campo magnético), basado en la medida de las susceptibilidades direccionales a lo largo de determinadas direcciones sobre los especímenes de roca (JELINEK, 1981).

DISPOSICIÓN Y ORIENTACIONES DE LOS DIQUES

Los diques de lamprófidos presentes en el plutón de Panticosa comprenden dos grupos composicionales que se emplazaron según orientaciones preferentes distintas. El primer grupo comprende espesartitas calcoalcalinas,

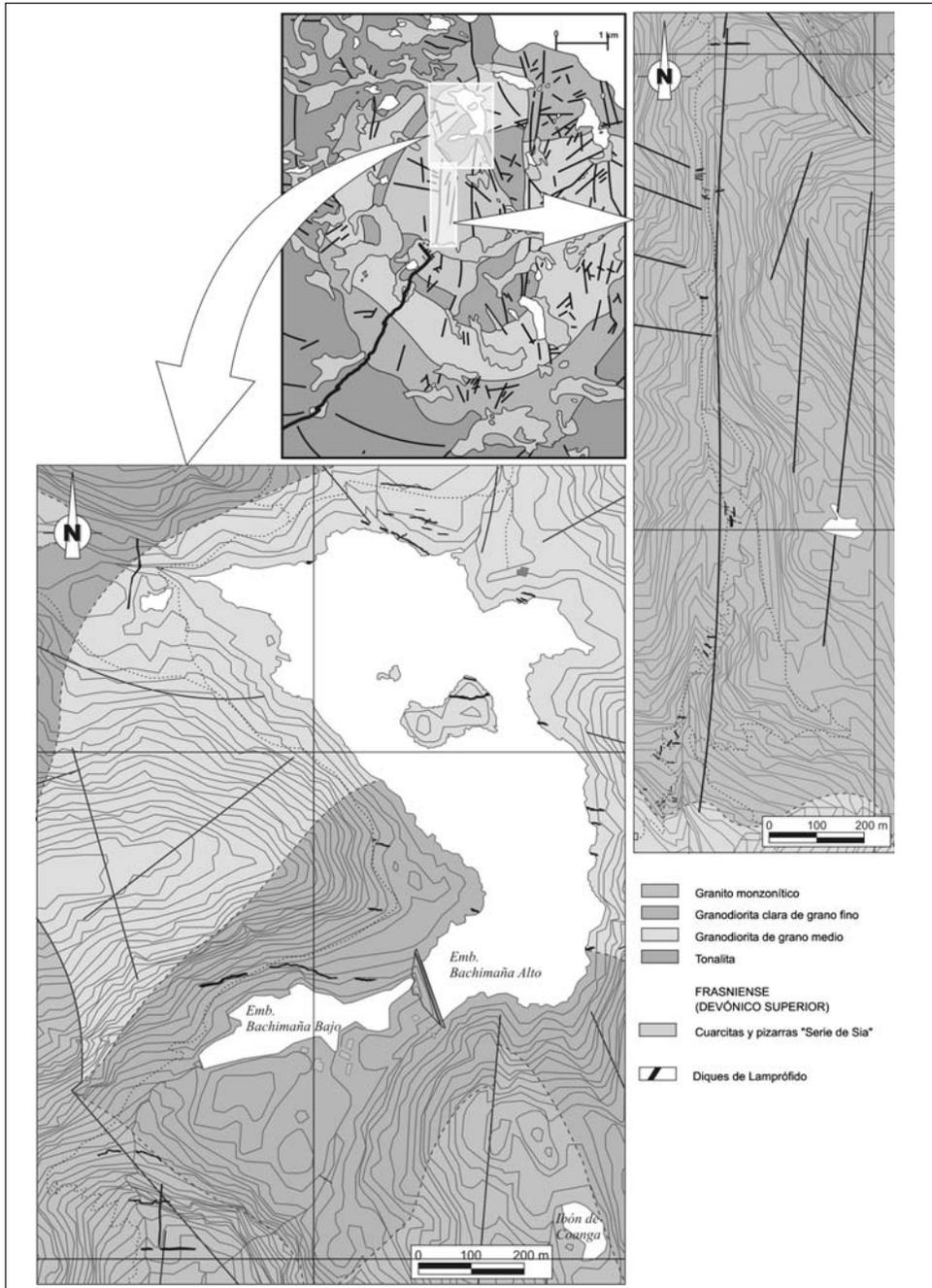


Fig. 2. Mapa geológico de detalle del área de estudio.

tiene una orientación preferente N-S y es mucho menos numeroso. El segundo grupo, predominante, está constituido por camptonitas de afinidad alcalina y sus direcciones preferentes de emplazamiento son E-W a ENE-WSW. El estudio de campo nos ha permitido elaborar una cartografía geológica de detalle (Fig. 2) en la que se refleja la posición y la orientación preferentes de numerosos diques de lampróvido.

Aislados casos de intersección indican que diques con la primera orientación (N-S) son cortados por la otra familia de intrusiones, lo que permite establecer una cronología relativa de emplazamiento.

Estos diques alcanzan gran longitud (superior a 1 km) y tienen una potencia muy variable (desde centímetros hasta 15 m). Los contactos con el encajante granítico son, en todos los casos, netos y es común el desarrollo de bordes enfriados en el lampróvido. Las trazas de los diques son irregulares, en ocasiones, difíciles de seguir y se dan espectaculares situaciones de corte de varias generaciones de diques.

Más en detalle, se han estudiado más de 70 ejemplos de diques y se ha determinado (Fig. 3A) una dirección predominante próxima al W-E (N085°-N090°), con otras direcciones oblicuas destacadas (N110°, N65° y

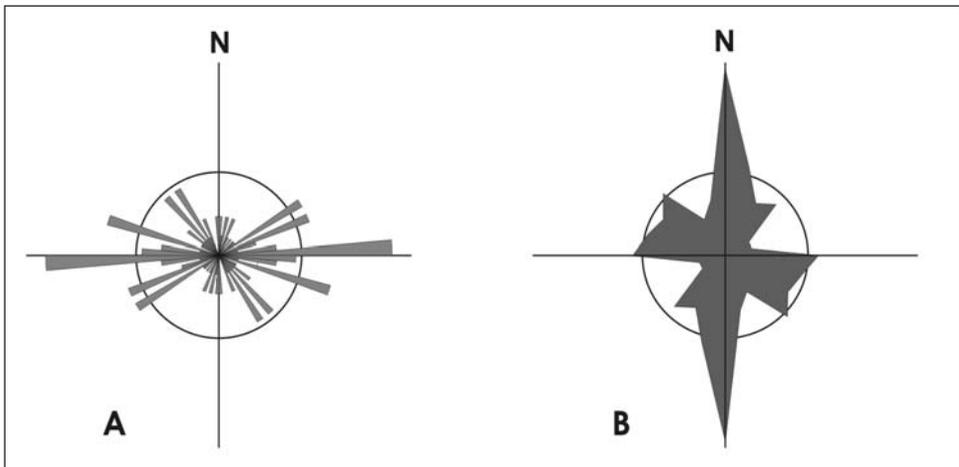


Fig. 3. A) Proyección en un diagrama de rosa de los vientos de las direcciones de más de 70 diques de lampróvidos analizados. Se observa la predominancia de la familia E-W, seguida por otras direcciones oblicuas. B) Direcciones principales de las fracturas en el plutón de Panticosa (según DEBON, 1975).

N140°), coincidente con el rango de N80°E a N140°E obtenidas por DEBON (1975). El buzamiento es próximo a la vertical o dirigido hacia el N-NE.

Las direcciones de estos diques coinciden, fundamentalmente, con las direcciones de fracturas que presentan los granitoides, donde destacan dos familias principales de fallas (DEBON, 1975): una predominante de dirección N-S y otro grupo de dirección W-E a WNW-ESE (Fig. 3B).

Las características de contacto de los diques con el encajante granítico sugieren que el emplazamiento de los lamprófidos se produjo cuando el granitoide estaba ya consolidado, dando contactos netos y bordes enfriados en el material básico, a favor de fracturas previas del encajante.

CARACTERÍSTICAS PETROLÓGICAS DE LOS LAMPRÓFIDOS

Espesartitas

Las espesartitas (diques de dirección N-S) tienen un color gris verdoso a verde, con un tamaño de grano muy fino, destacando solamente algunos fenocristales aislados de feldespatos. Presentan gran homogeneidad composicional y textural y, además, se encuentran algo alteradas. Su textura es hipocristalina, algo traquítica y de grano fino, con microlitos de plagioclasa y, en ocasiones, fenocristales de plagioclasa sericitizada, por lo que existe un cierto carácter pilotáxico. En algunos fenocristales de plagioclasa se intuyen zonaciones composicionales, enmascaradas por la alteración generalizada. Se han encontrado algunos microcristales de clinopiroxeno (< 5%) algo titatanado, sincristalizando con los microlitos de plagioclasa. Los minerales opacos tienen composición de magnetita y se presentan como cristales idiomorfos de gran tamaño y microcristales de hipidiomorfos a alotriomorfos con una gran dispersión a lo largo de la roca. Es común la presencia de cuarzo microcristalino en el espacio libre, así como clorita y carbonatos como productos de relleno de fisuras y de alteración de las plagioclasas cálcicas.

Camptonitas

Las camptonitas son, en muestra de mano, más oscuras y tienen un tamaño de grano fino, con fenocristales de piroxeno, anfíbol y plagioclasa.

En casos aislados se identifican alineaciones de minerales ferromagnesianos (anfíbol o piroxeno) y, con menor frecuencia, de minerales félsicos (plagioclasas); dentro de este grupo destaca una facies por encima del resto que presenta fenocristales de anfíbol que pueden alcanzar un desarrollo destacado (centimétrico) en diques situados al S del Ibón Inferior y al N de Bachimaña. Presentan cierto rango de variación en las proporciones modales de sus minerales principales y, a su vez, una amplia variedad textural, con variación de tamaño desde tipos de grano medio a otros de grano fino. Comprenden desde términos claramente porfídicos a términos doleríticos y tienen una asociación mineral primaria formada por plagioclasa (rango en An_{56-46}), clinopiroxeno (Ti-augita, con rango de variación en $En_{42}Wo_{42}Fs_{16}$ y $En_{41}Wo_{30}Fs_{29}$) y anfíbol titanado de tipo kaersutita; la biotita y la espinela (Mg-Cromita) son ocasionales. Los minerales secundarios más frecuentes son clorita, epidota, calcita y leucóxeno, y suelen aparecer de manera frecuente dada la alteración general que presentan las rocas.

Dentro de las camptonitas, en función de las variaciones en las proporciones modales de las fases principales (plagioclasa, clinopiroxeno y anfíbol) distinguimos dos facies petrográficas, una rica en clinopiroxeno y otra rica en anfíbol. El estudio de la anisotropía magnética ha sido llevado a cabo en diques del tipo facies rica en clinopiroxeno que, en detalle, presenta textura porfídica e hipocristalina donde los fenocristales de clinopiroxeno (Ti-augita) presentan desarrollo subofítico (Pl_1) con poiquilitización variable por microcristales de plagioclasa (Pl_2) y, a su vez, los cristales de plagioclasa (Pl_2 y Pl_3) presentan un desarrollo intergranular (carácter dolerítico). Los fenocristales de plagioclasa (Pl_1) son aislados. Los opacos con mayor desarrollo e idiomorfismo son magnetitas. Las vesículas están rellenas bien por agregados de epidota (pistacita) o por clorita. La composición modal, referida a fases primaria es, 40-45% clinopiroxeno, 45-50% plagioclasa y 5-8% opacos.

SUSCEPTIBILIDAD MEDIA Y MINERALOGÍA MAGNÉTICA

Para el caso de los diques muestreados (Tabla I), los valores promedio de K_m varían desde 420×10^{-6} [SI] hasta 740×10^{-6} [SI]. El valor promedio es de $\approx 580 \times 10^{-6}$ [SI]. Estos valores son típicos de rocas basálticas donde la magnetita es la principal fase magnética (ferromagnética) respon-

sable de la susceptibilidad de la roca (ROCHETTE et alii, 1991). Estos valores contrastan con los obtenidos para el granito encajante (valor promedio de $\approx 80 \times 10^{-6}$ SI) caracterizado por la presencia de biotita como principal fase paramagnética portadora de la susceptibilidad magnética.

En relación con los dos diques, se infiere una buena correlación entre los valores de susceptibilidad media obtenida y las características petro-lógicas de las muestras. En este sentido cabe señalar que el mayor valor obtenido se da en muestras del dique de orientación E-O, lo cual es coherente con la composición de esta roca (camptonita-lamprófido alcalino) equivalentes a los basaltos alcalinos del Pérmico que afloran en áreas próximas (GIL et alii, 2002; GALÉ, 2005). Por su parte, el dique de orientación N-S (espesartita) tiene un valor promedio de susceptibilidad de 480×10^{-6} [SI], compatible con una composición de tipo andesítica y afinidad calcoalcalina.

Tabla I. Datos medios de ASM para diques de lamprófido y granito encajante del plutón de Panticosa. N = número de especímenes; Km = susceptibilidad media ($\times 10^{-6}$ [SI]); Pj y Tj son el grado de anisotropía y el parámetro de forma, respectivamente (JELINEK, 1981).

Site	N	Km	Pj	Tj
Granito encajante	11	83,5	1,022	0,008
Dique N-S (espesartita)	Pared O 20	Pared O 419,3	Pared O 1,083	Pared O 0,236
	16 Pared E	577,3 Pared E	1,081 Pared E	-0,173 Pared E
	Σ 36	478,8	1,082	0,054
Dique E-O (camptonita)	Pared N 7	Pared N 740,0	Pared N 1,034	Pared N 0,567
	5 Pared S	572,3 Pared S	1,107 Pared S	0,322 Pared S
	Σ 12	670,1	1,027	0,465

FORMA Y ORIENTACIÓN DE LOS ELIPSOIDES MAGNÉTICOS

El análisis de la forma de los elipsoides magnéticos se ha llevado a cabo mediante el gráfico de anisotropía (Fig. 4). En el caso de los diques analizados predominan los elipsoides oblatos tanto en las espesartitas (N-S)

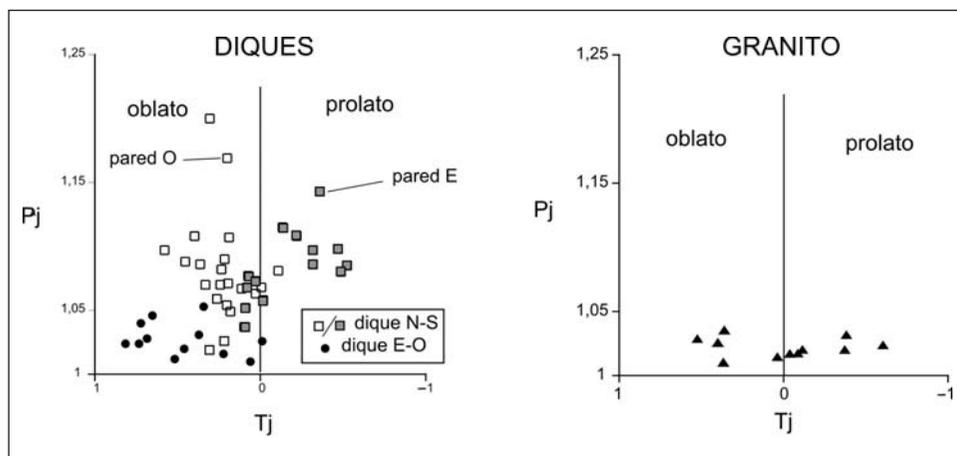


Fig. 4. Comparación de los gráficos de anisotropía de las muestras de los diques de lamprófido (a) y las del granito encajante (b). Explicación en el texto.

como en las camptonitas (E-O). Los valores promedio de P_j y T_j varían entre 1,017 (dique E-O) y 1,083 (dique N-S) y $-0,173$ (dique N-S) y $0,567$ (dique E-O), respectivamente. Mientras que valores bajos del grado de anisotropía ($< 1,05$) y la forma de los elipsoides predominantemente oblatas ($1 > T_j > 0$), son rasgos característicos de intrusiones tabulares (HROUDA, 1982; STAUDIGEL et álii, 1992; TAMRAT & ERNESTO, 1999; CALLOT et álii, 2001), valores elevados del grado de anisotropía y formas prolatas ($-1 < T_j < 0$), sugieren la contribución de algún proceso posterior al emplazamiento y enfriamiento del magma.

Por lo que respecta al granito encajante, el gráfico de anisotropía revela las características propias de rocas ígneas de afinidad paramagnética, cuya fábrica responde a un proceso de flujo primario.

El análisis direccional de los ejes principales de susceptibilidad se ha realizado mediante proyección estereográfica (Fig. 5). En el caso de los estereogramas correspondientes a los dos diques de lamprófidos, además de los ejes principales del elipsoide de susceptibilidad de cada espécimen, se ha representado la foliación magnética (guirnalda de ejes intermedio y máximo) y la orientación media de las paredes del dique. En todos los casos, diques y granito encajante, se ha calculado el cono de confianza de la lineación magnética.

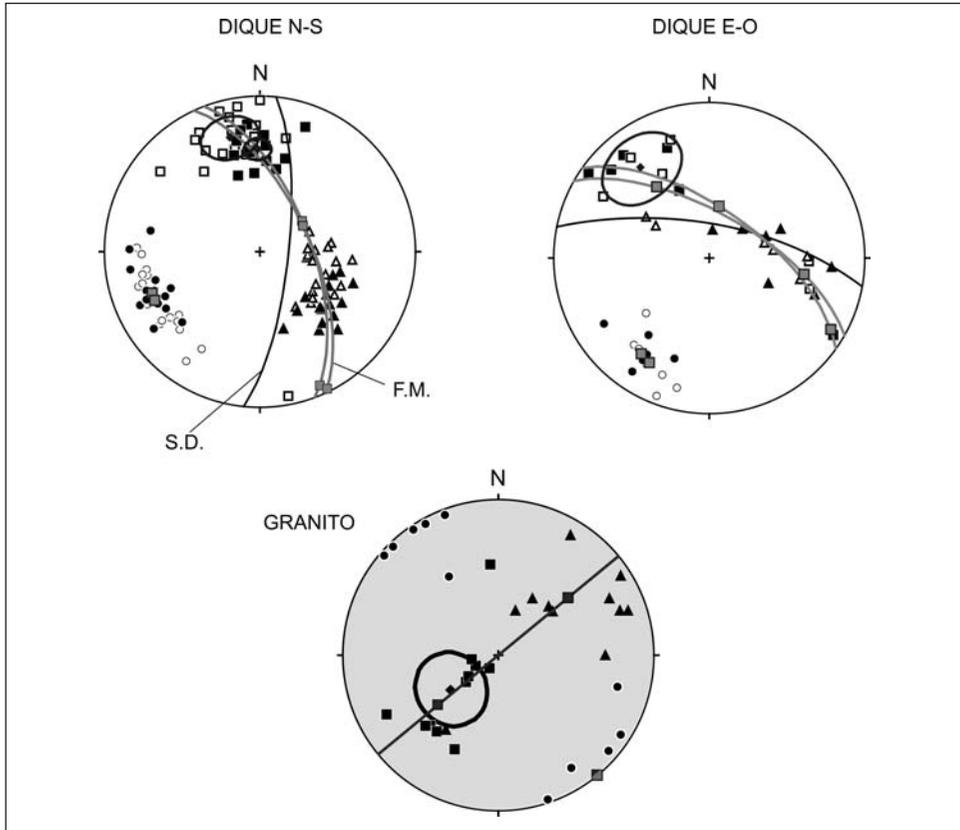


Fig. 5. Proyecciones estereográficas de los ejes principales de elipsoides magnéticos. En cada estereograma, cuadrados, triángulos y círculos representan las susceptibilidades máxima, intermedia y mínima; los círculos máximos en gris, la foliación magnética, y en negro, la superficie media de los diques.

De acuerdo con el trabajo de ROCHETTE et alii (1991) en diques ofiolíticos, la presencia de una foliación magnética próxima a la superficie media de emplazamiento y un predominio de elipsoides oblatos permite considerar las fábricas magnéticas como “normales”. Como se observa en los estereogramas, en ambos diques existe una marcada oblicuidad entre su superficie media y las foliaciones magnéticas deducidas en relación con cada pared. A pesar de la diferencia en sus orientaciones, otro rasgo común a ambos diques es la presencia de una lineación magnética de orientación N300E a N350E.

DISCUSIÓN

Una característica frecuente en diques es la presencia de foliaciones magnéticas paralelas a las paredes, elipsoides de formas marcadamente oblatas y orientaciones de los ejes máximo (K1) o intermedio (K2) paralelas a la dirección de flujo (ROCHETTE et alii, 1991, 1999). Por otro lado, diversos autores han constatado un patrón imbricado de la foliación magnética en relación con el efecto friccional de las paredes sobre el magma durante su emplazamiento (HILLHOUSE & WELLS, 1991; GEOFFROY et alii, 2002; CALLOT & GUICHET, 2003).

Como muestran los resultados del estudio realizado, este patrón imbricado no se encuentra en los diques analizados. Además, la foliación magnética media que contiene una lineación bien definida en ambos casos, es oblicua respecto a la pared media de los diques (Fig. 6). La explicación del origen de tal oblicuidad resulta un tema fundamental a la hora de establecer cualquier interpretación cinemática.

En este sentido, mientras que diques asociados a una extensión pura darían lugar a fábricas con un elevado grado de simetría (respecto al plano central del dique), un emplazamiento en condiciones de cizalla simple generaría fábricas poco simétricas, marcadamente monoclinicas. Considerando estos argumentos geométrico-cinemáticos, y a la espera de un estudio más exhaustivo en otros diques, los resultados obtenidos permiten plantear un modelo de emplazamiento en condiciones transtensivas (extensión + cizalla simple). Bajo estas condiciones cinemáticas y considerando el marco estructural tardivarisco en este sector del Pirineo, la lineación magnética, en ambos diques, indicaría una dirección de extensión local NNO-SSE a NO-SE. A este esquema estructural, hay que añadir una última deformación responsable de la cizalla sinistra del dique de orientación E-O. Esta última deformación sería la causante del giro pasivo de la fábrica magnética del dique E-O.

CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio cartográfico exhaustivo de los diques de lamprófidos del plutón granítico de Panticosa, aportándose una cartografía de detalle novedosa que revela la posición y orientación de estos diques.

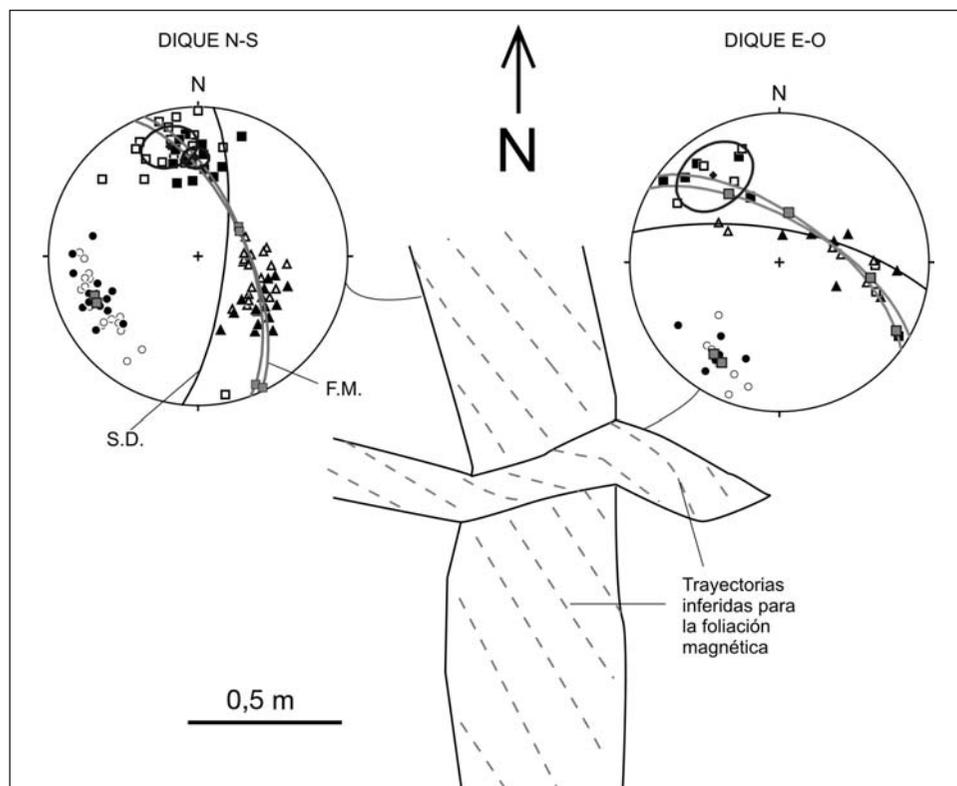


Fig. 6. Reconstrucción de las trayectorias de la foliación magnética en los diques estudiados a partir de los datos direccionales de susceptibilidad magnética (estereogramas).

Existen varias direcciones principales de emplazamiento de los diques de lamprófidos, siendo mayoritaria la orientación E-O, frente al resto. También se observan numerosas direcciones oblicuas y son minoritarias las de rumbo N-S. Las principales orientaciones coinciden con las direcciones de fracturación predominantes dentro del plutón.

La composición de los diques se divide, fundamentalmente, en dos grandes tipos. El primero de ellos es mayoritario, tiene direcciones E-O y próximas y está formado por camptonitas, de composición alcalina, equivalentes a los basaltos alcalinos del Pérmico medio emplazados en áreas próximas al plutón de Panticosa (por ejemplo, Anayet). El segundo, muy minoritario, presenta orientaciones N-S y su composición es de espesartitas calcoalcalinas, similares a otras andesitas del Pérmico inferior de la cadena pirenaica.

Las relaciones de corte entre familias de diques señalan que el emplazamiento de las espesartitas (N-S) es anterior al de las camptonitas E-O y oblicuas.

Tomando en consideración el conjunto de datos obtenidos mediante el estudio de la Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética de los diques de lamprófidos del plutón de Panticosa, así como de su encajante granítico, es posible establecer una secuencia de eventos que puede resumirse en

1. Creación de un sistema de diques subperpendiculares bajo el efecto de una compresión generalizada NE-SO, responsable de una foliación oblicua de orientación NNO-SSE a NO-SE y una lineación magnética paralela a la dirección de extensión local.
2. Deformación tardía asociada a una dirección de compresión NO-SE responsable de la cizalla dúctil sinistra y rotación pasiva del dique de orientación E-O.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por una Ayuda a la Investigación del Instituto de Estudios Altoaragoneses en su convocatoria del año 2005.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CALLOT, J. P.; GEOFFROY, L.; AUBOURG, C.; POZZI, J. P., & MEGE, D. (2001). Magma flow directions of shallow dykes from the East Greenland volcanic margin inferred from magnetic fabric studies. *Tectonophysics*, 335: 313-329.
- CALLOT, J. P., & GUICHET, X. (2003). Rock texture and magnetic lineation in dykes: a simple analytical model. *Tectonophysics*, 366: 207-222.
- CAÑÓN-TAPIA, E.; WALKER, G. P. L., & HERRERO-BERVERA, E. (1996). The internal structure of lavas: insights from AMS measurements I: near vent "a-a". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 70: 21-36.
- DEBON, F. (1975). Les massifs granitoïdes à structure concentrique de Cauterets-Panticosa (Pyrénées occidentales) et leurs enclaves. Une étude pétrographique et géochimique. *Mém. Sci. de la Terre. Nancy*, 33, 420 pp.
- ELLWOOD, B. B. (1978). Flow and emplacement direction determined for selected basaltic bodies using magnetic susceptibility anisotropy measurements. *Earth and Planetary Science Letters*, 41: 254-264.

- ERNST, R. E., & BARAGAR, W. R. A. (1992). Evidence from magnetic fabric for the flow pattern of magma in the MacKenzie giant radiating dyke swarm. *Nature*, 356: 511-513.
- GALÉ, C.; LAGO, M.; ARRANZ, E.; GIL, A., y POCOVÍ, A. (2003). Geochemistry of the alkaline magmatism related to the onset of Mesozoic extension in the Pyrenees. En *Volumen de Actas del IV Iberian Geochemical Meeting*: 75-77.
- GALÉ, C. (2005). *Evolución geoquímica, petrogenética y de condiciones geodinámicas de los magmatismos pérmicos en los sectores central y occidental del Pirineo*. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza. 467 pp.
- GEOFFROY, L.; CALLOT, J. P.; AUBOURG, C., & MOREIRA, M. (2002). Magnetic and plagioclases linear fabric discrepancy in dykes: a new way to define the flow vector using magnetic foliation. *Terra Nova*, 14: 183-190.
- GIL, A.; LAGO, M.; GALÉ, C.; POCOVÍ, A., y ARRANZ, E. (2002). Magnetic fabric in folded sills and lava flows. A case study in the Permian basalts of the Anayet Massif (Pyrenean Axial Zone, Spain). *Tectonophysics*, 350: 1-15.
- GLEN, J. M.; RENNE, P. R.; MILNER, S. C., & COE, R. S. (1997). Magma flow inferred from anisotropy of magnetic susceptibility in the coastal Paraná-Etendeká igneous province: Evidence for rifting before flood volcanism. *Geology*, 25: 1131-1134.
- HENRY, B. (1997). The magnetic zone axis: a new element of magnetic fabric for the interpretation of the magnetic lineation. *Tectonophysics*, 271: 325-351.
- HERRERO-BERVERA, E.; CAÑÓN-TAPIA, E.; WALKER, G. P. L., & TANAKA, H. (2001). Magnetic fabric study and inferred flow directions of lavas of the Old Pali Road, Oáhu, Hawaii. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 118: 161-171.
- HILLHOUSE, J. W., & WELLS, R. E. (1991). Magnetic fabric, flow direction and source area of the lower Miocene Peach Spring Tuff in Arizona, California and Nevada. *Journal of Geophysical Research*, 96: 12443-12460.
- HROUDA, F. (1982). Magnetic anisotropy and its application in geology and geophysics. *Geophysical Survey*, 5: 37-82.
- HROUDA, F., & KAHAN, S. (1991). The magnetic fabric relationship between sedimentary and basement nappes in the High Tatra Mountains, N. Slovakia. *Journal of Structural Geology*, 13: 431-442.
- JELINEK, V. (1981). Characterization of the magnetic fabric of rocks. *Tectonophysics*, 79: 63-67.
- KHAN, M. A. (1962). The anisotropy of magnetic susceptibility of some igneous and metamorphic rocks. *Journal of Geophysical Research*, 67: 2873-2885.
- KNIGHT, M. D., & WALKER, G. P. L. (1988). Magma flow directions in flows of the Koolau Complex, Oahu, determined from magnetic fabric studies. *Journal of Geophysical Research*, 93: 4308-4319.

- LAGO, M.; GALÉ, C.; GIL, A.; ARRANZ, E., y POCOVÍ, A. (2004a). Los lamprófidos alcalinos del Pérmico superior emplazados en el plutón granitoideo de Panticosa (Huesca): petrología y mineralogía. *Geotemas*, 6(1): 61-65.
- LAGO, M.; GALÉ, C.; ARRANZ, E.; GIL, A., y POCOVÍ, A. (2004b). Geoquímica de los lamprófidos alcalinos del plutón granitoideo de Panticosa (Huesca). *Geotemas*, 6(1): 65-68.
- LAGO, M.; ARRANZ, E.; POCOVÍ, A.; GALÉ, C., & GIL-IMAZ, A. (2004c). Upper permian magmatism and basin dynamics in the southern Pyrenees: a record of the transition from late Variscan transtensional to early Alpine extension. En WILSON, M.; NEUMANN, E. R.; DAVIES, G. R.; TIMMERMAN, M. J.; HEEREMANS, M., y LARSEN, B. T. (eds.). *Permo-carboniferous magmatism and rifting in Europe*. Geological Society, Londres, Special Publication, 223: 439-464.
- ROCHETTE, P.; JENATTON, L.; DUPUY, C.; BOUDIER, F., & REUBER, I. (1991). Emplacement modes of basaltic dykes in the Oman ophiolite: evidence from magnetic anisotropy with reference to geochemical studies. En PETERS, T. J. (ed.). *Ophiolite Genesis and the Evolution of the Oceanic Lithosphere*. Kluwer. Dordrecht. 55-82.
- ROCHETTE, P.; AUBOURG, C., & PERRIN, M. (1999). Is this magnetic fabric normal? A review and case studies in volcanic formations. *Tectonophysics*, 307: 219-234.
- STAUDIGEL, H. G.; GEE, G.; TAUXE, L., & VARGA, R. J. (1992). Shallow intrusive direction of sheeted dykes in the Troodos ophiolite: anisotropy of magnetic susceptibility and structural data. *Geology*, 20: 841-844.
- TAMRAT, E., & ERNESTO, M. (1999). Magnetic fabric and rock-magnetic character of the Mesozoic flood basalts of the Paraná Basin, Brazil. *Journal of Geodynamics*, 28: 419-437.
- TARLING, D. H., & HROUDA, F. (1993). *The magnetic anisotropy of rocks*. Chapman & Hall Eds. Londres. 217 pp.
- VARGA, R. J.; GEE, J. S.; STAUDIGEL, H., & TAUXE, L. (1998). Dykes surfaces lineations as magma flow indicators within the sheeted dyke complex of the Troodos ophiolite. Cyprus. *Journal of Geophysical Research*, 103: 5241-5256.
- WALKER, G. P. L.; CAÑÓN-TAPIA, E., & HERRERO-BERVERA, E. (1999). Origin of vesicle layering and double imbrication by endogenous growth in the Birkett basalt flow (Columbia River plateau). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 88: 15-28.

CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS DE DOS BALSAS DE LOS MONEGROS

Emilia MARTÍN QUELLER*
Juan CERVANTES VALLEJOS*
César PEDROCCHI RENAULT*
Guillermo SANZ TRULLÉN*
Gonzalo MARTÍNEZ CAPETILLO*

RESUMEN.— En la región de Los Monegros se distribuyen 251 balsas de tierra de uso fundamentalmente ganadero, actualmente en proceso de abandono. Diversos estudios han subrayado la importancia de estos humedales en el mantenimiento de la biodiversidad acuática a nivel regional. En este estudio se analizan los factores diferenciadores —bióticos, abióticos y antrópicos— de dichas balsas, y su efecto sobre la composición y estructura funcional de las comunidades de macroinvertebrados de dos balsas con características contrastadas. Se trata de Pina Norte, una pequeña balsa en el término municipal de Alcubierre, situada al N de la sierra del mismo nombre, y la balsa de San Benito, en el municipio de Monegrillo, al S de la sierra antes mencionada.

El estudio pone de relieve la elevada capacidad de autodepuración de dichos sistemas, lo que les permite albergar una alta diversidad de macroinvertebrados, cuyas características biológicas y ecológicas parecen depender más del estadio en la sucesión de las balsas que de otras características, como tamaño, litología, etcétera. Por último, hay que hacer hincapié en la necesidad de conservar tanto una densidad adecuada de balsas como una

* Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC). Ap. 64. E-22700 JACA (Huesca). emimartin@ipe.csic.es

heterogeneidad de las mismas, a pesar de la progresiva desaparición de sus usos tradicionales, por cuanto constituyen un mosaico de pequeñas masas de agua en la aridez de Los Monegros que, en su conjunto, albergan un buen número de taxones (31 familias de macroinvertebrados solo en el conjunto de las dos balsas), constituyendo un refugio y fuente de recursos para muchas otras especies.

ABSTRACT.— In the region of Los Monegros there are 251 cattle ponds, nowadays in a state of neglect. Several studies have underlined the importance of these wetlands in the maintenance of regional aquatic biodiversity. In this paper, biotic, abiotic and anthropic factors differentiating these ponds are studied, and their effects on composition and functional structure of macroinvertebrates communities in two contrasted ponds. These two ponds are specifically Pina Norte, a small pond within the Alcubierre municipal area, located in the northern side of Alcubierre Mountains; and San Benito, within the Monegrillo municipal area, in the south of the aforementioned mountains.

The results emphasize the high autopurification capacity of these systems, which allows a high diversity of macroinvertebrates to inhabit them. These organisms' biological and ecological characteristics seem to depend more on the pond evolutionary state than on other characteristics like size, lithology, etc. Finally, it has to be underlined the necessity to conserve both an appropriate density of ponds and ponds heterogeneity, as they constitute a mosaic of small wetlands within the aridity of Los Monegros Region which, as a whole, contain a significant number of taxa (31 macroinvertebrates families just in the two ponds studied), and are shelter and resources sources for many other species.

KEY WORDS.— Pond, water characteristics, macroinvertebrate, meta-communities, Los Monegros, Aragón (Spain).

INTRODUCCIÓN

Las investigaciones limnológicas han incrementado en los últimos años su interés por los cuerpos de agua pequeños y someros debido fundamentalmente a su importante contribución a la biodiversidad acuática a nivel regional (diversidad gamma) y al elevado número de especies raras de plantas e invertebrados que albergan (OERTLI et alii, 2005).

El presente estudio se desarrolla en la comarca de Los Monegros (depresión del Ebro, Aragón) (Fig. 1), cuyo clima —continental árido— se caracteriza por temperaturas anuales extremas, pluviometría media anual escasa (200-400 mm), vientos dominantes de gran capacidad desecadora y

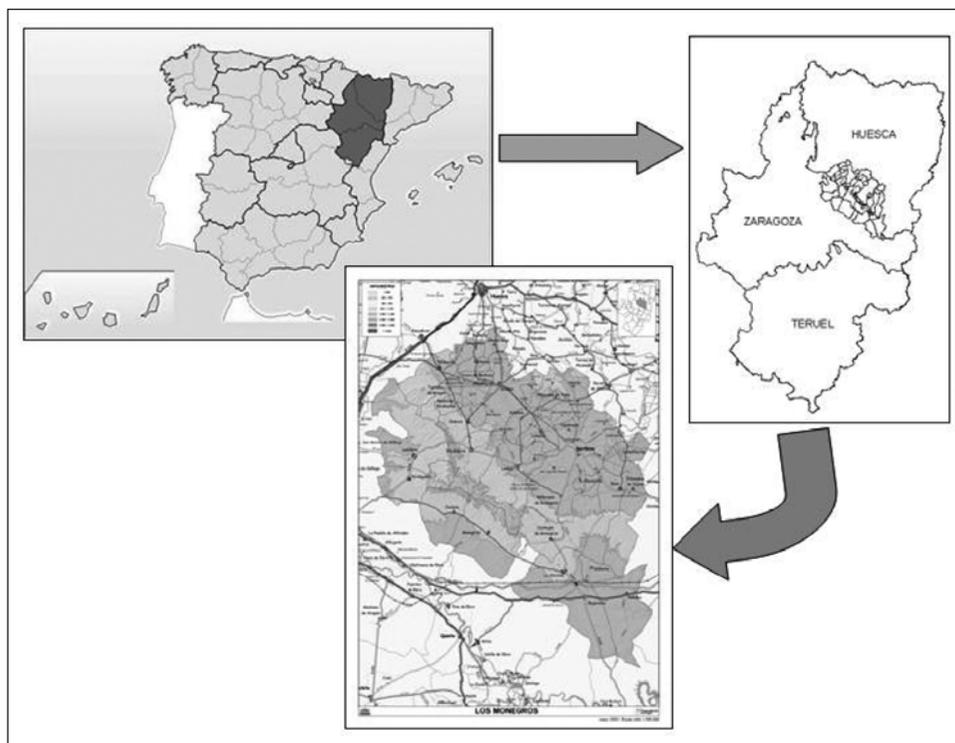


Fig. 1. Localización de la comarca de Los Monegros, área de estudio.

un déficit hídrico superior a los 300 mm. Los Monegros quedan enmarcados por ríos, pero prácticamente ninguno discurre por su interior; la mayor parte de la red de drenaje muere en el llano por evaporación y percolación de las aguas superficiales o bien por acúmulo en depresiones endorreicas (PEDROCCHI [coord.], 1998).

En dicha área de estudio existen aproximadamente 251 balsas de tierra inventariadas (PEDROCCHI et álui, 2002, inédito). Construidas, algunas de ellas desde épocas prerromanas, fundamentalmente para un uso ganadero, aunque también doméstico y agrícola, en la actualidad muchas de estas construcciones están en estado de abandono por la pérdida de sus usos tradicionales.

Estas balsas son sistemas que se autodestruyen por colmatación en un plazo breve (10-15 años) y, por lo tanto, para mantener su uso necesitan aporte de energía (cuidado de conservación). Según su estadio evolutivo,

sus características y su uso, una balsa típica puede desarrollar una comunidad macrofítica y helofítica de cierta importancia. Desde el punto de vista biológico, las balsas, consideradas como sistemas temporales, presentan una inversión de conceptos de clímax, al referirnos a la biocenosis y al biotopo: la comunidad de una balsa, si tiene ocasión, avanza en la sucesión ecológica para dar lugar a una agrupación estable (clímax o pseudoclímax), para ello necesita que el medio no desaparezca y, por otra parte, la balsa como biotopo tiende a desaparecer por colmatación (MARGALEF, 1948).

Este proceso y el consecuente dragado por el hombre a lo largo de los años han definido en el territorio un mosaico de masas de agua en diferentes estadios sucesionales.

La heterogeneidad espacial y temporal conseguida con este y otros factores diferenciadores, junto con la conectividad, a través del fenómeno de dispersión de organismos entre estos humedales, permite un asentamiento de taxones adaptados a distintas condiciones ambientales que incrementan la biodiversidad del conjunto.

Para subrayar el papel de estos factores diferenciadores se lleva a cabo un estudio comparativo de dos balsas de tierra de características contrastadas, analizando las diferencias observadas en la composición de la comunidad de macroinvertebrados asentada en cada una de ellas, a través de sus características ecológicas y biológicas.

ÁREA DE ESTUDIO

Las balsas de tierra de San Benito y Pina Norte se localizan, respectivamente, en los términos municipales de Monegrillo y Alcubierre; el primero, al S de la sierra de Alcubierre, y el segundo, al N de dicho relieve (con una dirección NO-SE y una altitud máxima de 834 m, en la ermita de San Caprasio, se trata de niveles carbonatados que protegen de la erosión a los yesos y margas infrayacentes), ambos en la comarca de Los Monegros. Pina Norte se sitúa al pie de la vertiente norte, más escarpada, en una facies de margas y yesos; San Benito, en la zona de piedemonte, en la vertiente sur de la sierra, sobre una zona de coluviones (cantos, arenas y arcillas).

Dichos municipios se encuentran fuera de la zona de regadíos, como se aprecia en la figura 2, dominando por tanto los cultivos de secano en la zona.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para no subestimar la presencia de taxones de ciclo de vida corto o con formas de resistencia como la diapausa, se llevó a cabo un seguimiento de las dos balsas durante un año, aproximadamente cada quince días. El periodo de muestreo empezó en noviembre de 2003 y finalizó en octubre de 2004.

En cada muestreo se tomó una muestra de agua que permitiera seguir la evolución de sus características fisicoquímicas; además, se midieron *in situ*, en las capas más superficiales, la temperatura del agua, el oxígeno disuelto, el pH y la conductividad. Se midió el diámetro de la balsa y se estimó de visu la cobertura vegetal de helófitos como indicador del estado evolutivo de la balsa. Por último, se tomó una muestra de macroinvertebrados, comprobando todos los microhábitats y estandarizando el volumen de agua para el conjunto de las muestras. Para ello se muestrearon cuatro puntos de cada balsa, al azar, y en cada uno de ellos se realizaron tres pasadas con una manga de muestreo de macroinvertebrados de 0,5 mm de luz y cuyo bastidor medía 26 cm de ancho, 21 cm de alto, 15 cm de espaldón y con una profundidad de red de 30 cm.

Las muestras se fijaron en alcohol al 70% y se separaron e identificaron en el laboratorio; se determinaron los macroinvertebrados al mayor nivel taxonómico posible según la dificultad de identificación en cada caso. De cada muestra se contaron e identificaron los primeros 200 individuos. En el resto de la muestra se buscaron los taxones nuevos que, por su menor abundancia, no aparecían en el primer conteo, procurando igualar el nivel de esfuerzo en las muestras en función del intervalo de tiempo sin aparición de nuevos taxones.

Los valores de frecuencia relativa determinados de este modo para cada taxón se pasaron a frecuencia porcentual, y a partir de esta se estableció un valor semicuantitativo de abundancia relativa según la siguiente tabla de relaciones:

<i>Abundancia relativa</i>	<i>F_i (%)</i>
4	> 50
3	25-50
2	5-25
1	< 5

Para interpretar las diferencias en la comunidad de macroinvertebrados de ambas balsas se compararon veintidós características biológicas y ecológicas de los taxones específicos que aparecieron en cada una de ellas. La afinidad de cada taxón por las distintas modalidades de dichos rasgos biológicos y ecológicos viene recogida en una base de datos (TACHET et alii, 2003) mediante un sistema de codificación semicuantitativo. Dichos valores de afinidad por taxón fueron ponderados con sus respectivas abundancias, utilizando la media a lo largo de todo el año de muestreo para evitar la influencia de la estacionalidad de algunos invertebrados sobre su valor de abundancia. Se sumaron los valores de afinidad del conjunto de taxones específicos de cada balsa para cada una de las modalidades por característica biológica o ecológica. La suma obtenida se expresó en porcentajes relativos de afinidad.

Dos taxones que solo aparecen en Pina Norte, Oligochaeta e Hirudinea, no se pudieron tener en cuenta en este análisis, ya que la base de datos requería un nivel de determinación mayor al que se alcanzó. El primero tiene un valor de abundancia media importante, por lo que se está despreciando una influencia significativa en los resultados que se corregirá, en la medida de lo posible, en su discusión.

La influencia antrópica a través de la actividad ganadera ovina se valoró en función del número aproximado de ovejas que abrevan en cada balsa por día. Para obtener dicha cifra nos pusimos en contacto con los ganaderos de la zona.

RESULTADOS

Características de las balsas

En las tablas I y II se presentan tablas-resumen de las principales características de las balsas estudiadas así como de su fauna vertebrada (peces y anfibios).

Tabla I. Principales características de las dos balsas estudiadas.

<i>Balsa</i>	<i>UTM. X</i>	<i>UTM. Y</i>	<i>Altitud (m)</i>	<i>Superficie media (m²)</i>	<i>Prof. (m) Enero 2004</i>	<i>Cobertura helófitos (%)</i>	<i>Ovejas/día</i>
SB	712394	4615659	420	6356	0,40	10-30	3000
PN	710974	4628896	485	954	0,78	40-65	400

Tabla II. Ictiofauna y anfibios de las dos balsas estudiadas.

<i>Balsa</i>	<i>Peces</i>	<i>Rana perezii</i>	<i>Bufo bufo</i>	<i>Pelobates cultripes</i>
SB	No	Sí	Sí	No
PN	No	Sí	Sí	Sí

Conectividad

Con una distancia en línea recta entre las dos balsas de estudio de 13,3 km y un desnivel de entre 414 y 349 m, la conectividad potencial entre ambas es baja. En BRIERS & BIGGS (2005), se encontró autocorrelación espacial en la composición de las comunidades de macroinvertebrados en distancias de hasta 13 km, sin embargo, teniendo en cuenta el relieve que las separa, la distancia puede considerarse bastante superior.

Por otra parte, si observamos el mapa de distribución de balsas de tierra en Los Monegros (Fig. 2), se aprecia una densidad mucho mayor de estas al norte de la sierra de Alcubierre. Esta escasez de balsas de tierra en la zona meridional de Monegros, que parece atribuirse a su transformación en aljibes en los últimos años, supone una menor conectividad entre estos ecosistemas, dada la barrera geográfica que constituye la sierra de Alcubierre. En cuanto a la conectividad con otro tipo de humedales, escasos en Los Monegros, conviene destacar la mayor cercanía de la balsa de Pina Norte a la zona de regadíos de la comarca (sobre todo los arrozales podrían considerarse como lo más parecido a un humedal, en el área de estudio).

Fisicoquímica

En la tabla III se presentan los valores medios, junto con sus desviaciones típicas, de las variables fisicoquímicas de las balsas objeto de estudio correspondientes al ciclo anual.

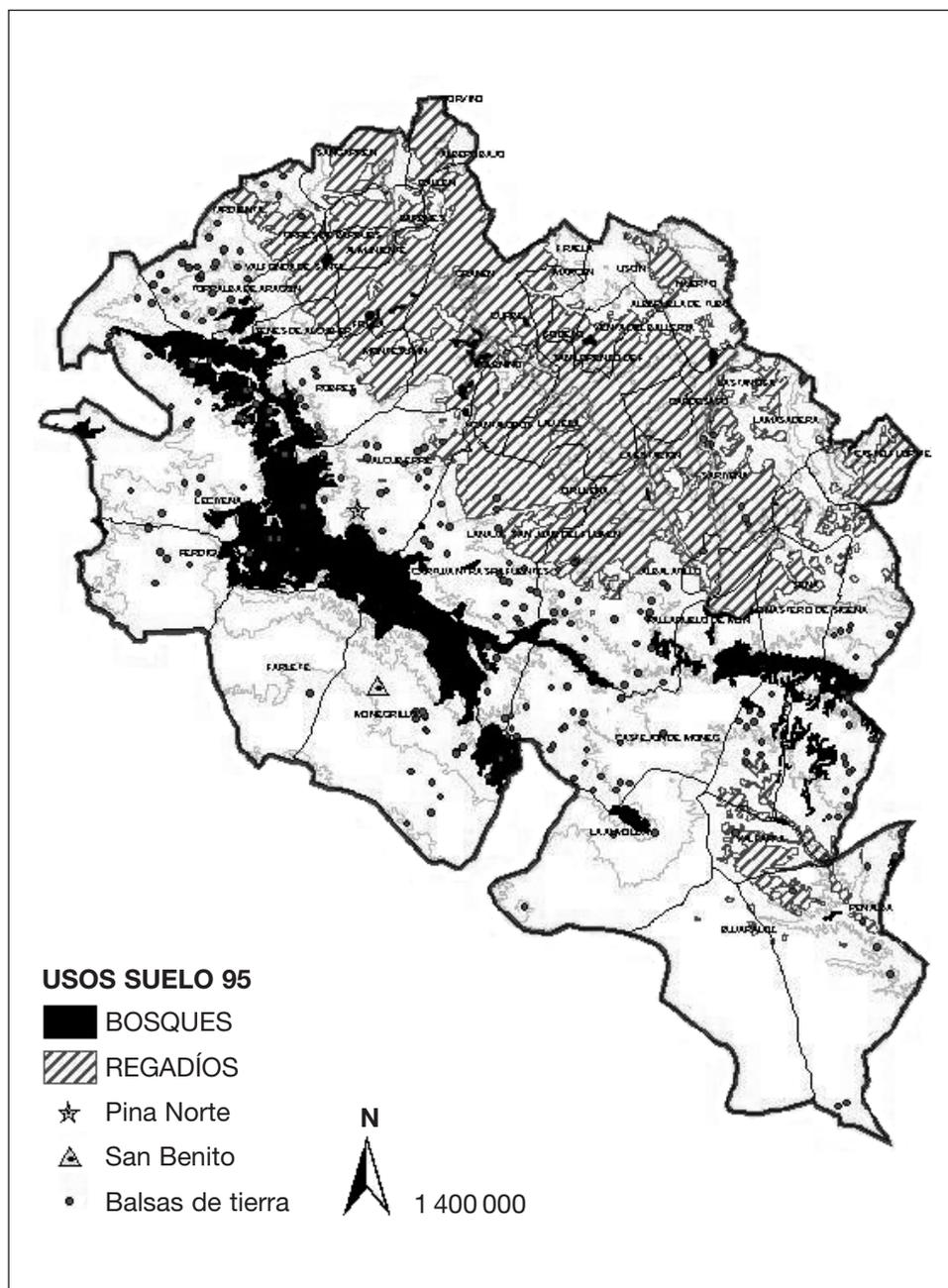


Fig. 2. Distribución de las balsas de tierra y localización de las balsas de Pina Norte y San Benito, en la comarca de Los Monegros.

Tabla III. Valores medios, mínimos y máximos, y desviaciones típicas de las variables fisicoquímicas del agua durante todo el periodo de muestreo en las dos balsas estudiadas.

		<i>Temp. agua</i>	<i>O₂ disuelto</i>	<i>pH</i>	<i>Conduct.</i>	<i>Turbidez</i>	<i>Sol. sus.</i>	<i>A. total</i>
		°C	mg/l		μS/cm	NTU	mg/l	mEq/l
San Benito	Media	14,995	10,558	7,757	2156,676	16,723	23,883	0,354
	Valor mínimo	2,800	3,120	6,900	1496,120	0,760	1,400	0,130
	Valor máximo	32,500	15,520	9,190	3920,000	78,800	126,047	0,720
	Desv. est.	8,664	3,465	0,642	681,372	24,070	32,707	0,183
Pina Norte	Media	14,214	9,104	7,383	469,902	83,718	55,597	1,050
	Valor mínimo	1,500	4,080	7,150	320,920	28,000	15,294	0,650
	Valor máximo	27,700	18,100	7,750	656,250	200,000	181,647	1,800
	Desv. est.	8,615	3,635	0,231	101,903	51,536	40,171	0,290
		CO ³⁻ H	CO ³⁼	Ca	Mg	Na	K	S-SO ⁴
		mEq/l	mEq/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
San Benito	Media	0,333	0,021	1059,075	66,308	50,346	24,861	1395,209
	Valor mínimo	0,130	0,000	467,500	22,350	20,400	13,220	0,000
	Valor máximo	0,720	0,280	3151,000	181,900	196,100	51,900	5373,080
	Desv. est.	0,188	0,069	616,582	46,441	44,462	12,552	1308,657
Pina Norte	Media	1,050	0,000	87,756	11,846	19,644	26,698	59,998
	Valor mínimo	0,650	0,000	60,950	6,268	9,300	17,200	0,000
	Valor máximo	1,800	0,000	142,700	27,850	87,720	55,200	148,662
	Desv. est.	0,290	0,000	25,611	5,470	19,034	10,944	41,375
		SiO ₂	Cloruro	Fósf. to.	Fósf. mi.	N-NO ₃	N-NO ₂	N-NH ₄
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
San Benito	Media	12,675	157,976	0,036	0,005	0,401	0,003	0,004
	Valor mínimo	26,190	26,192	0,010	0,000	0,215	0,000	0,000
	Valor máximo	587,820	587,818	0,106	0,014	1,196	0,022	0,056
	Desv. est.	5,317	152,099	0,027	0,004	0,233	0,006	0,014
Pina Norte	Media	5,941	31,118	0,112	0,040	0,721	0,144	0,149
	Valor mínimo	0,579	17,495	0,046	0,000	0,161	0,000	0,000
	Valor máximo	11,749	70,678	0,173	0,165	1,862	0,627	0,527
	Desv. est.	3,251	12,854	0,054	0,055	0,612	0,175	0,234

a) Conductividad

Una de las características más destacables en la fisicoquímica de la balsa de San Benito es su elevada conductividad, con un valor medio de $2156,7 \pm 681,4 \mu\text{S}/\text{cm}$, y una tendencia de crecimiento exponencial a lo largo del año, probablemente debido al aumento de temperatura y el consecuente descenso en el nivel del agua. Son aguas sulfatadas, con elevadas concentraciones de calcio y magnesio.

El contenido en sales es mucho menor en Pina Norte (conductividad media: $469,9 \pm 101,9 \mu\text{S}/\text{cm}$) y se encuentra dentro de los valores normales para la vida acuática y otros usos. También tiende a aumentar globalmente.

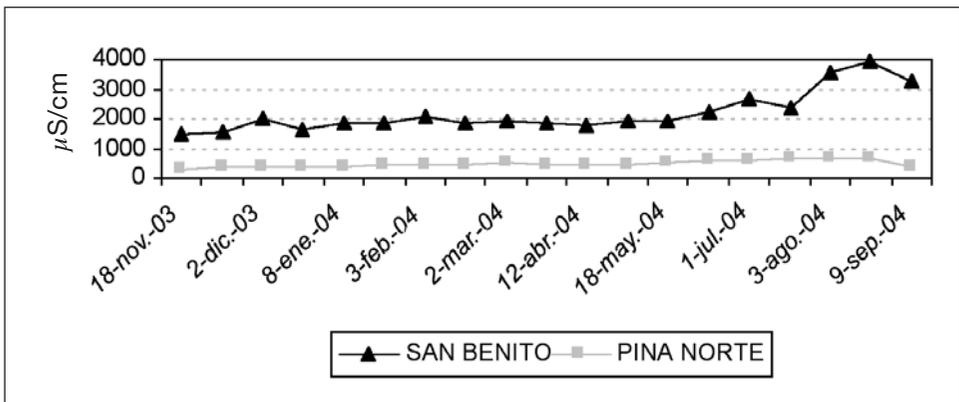


Fig. 3. Conductividad en las dos balsas de estudio a lo largo del periodo de muestreo.

b) Temperatura, oxígeno y pH

La temperatura del agua sigue la tendencia propia del clima de la zona, con valores similares en ambas balsas. El valor mínimo se da en marzo en San Benito y en enero en Pina Norte ($2,8$ y $1,5$ °C, respectivamente), mientras que los máximos se dan en julio y agosto ($32,5$ y $27,7$ °C).

Niveles relativamente buenos de oxígeno y con una evolución muy parecida en ambas balsas. El efecto de la elevada temperatura en verano, que conllevaría una disminución importante de oxígeno, se ve compensado

por la mayor actividad fotosintética de las plantas a partir de primavera, lo que podría explicar los picos de subida y de bajada, a veces a valores demasiado bajos.

Aunque el oxígeno disuelto medio anual de ambas balsas es similar ($10,56 \pm 3,47$ mg/l, en San Benito; $9,10 \pm 3,64$ mg/l, en Pina Norte), este es inferior en la balsa de Pina Norte, ya que el pico de oxígeno que se da en enero ($18,1$ mg/l) eleva la media.

En San Benito los valores de pH oscilan a lo largo del año en un rango elevado. El pH supera en verano (junio y julio) en esta balsa el valor de 9; son aguas relativamente alcalinas. En Pina Norte las oscilaciones son mucho menos acusadas, dentro de un rango más o menos neutro.

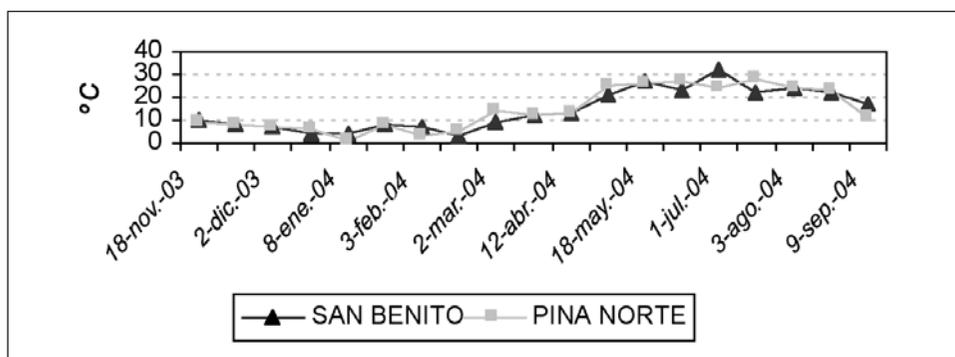


Fig. 4. Temperatura en las dos balsas de estudio a lo largo del periodo de muestreo.

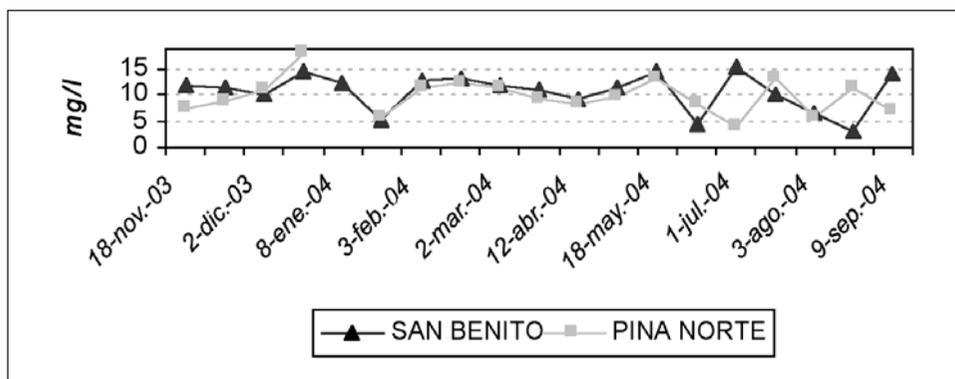


Fig. 5. Oxígeno disuelto en las dos balsas de estudio a lo largo del periodo de muestreo.

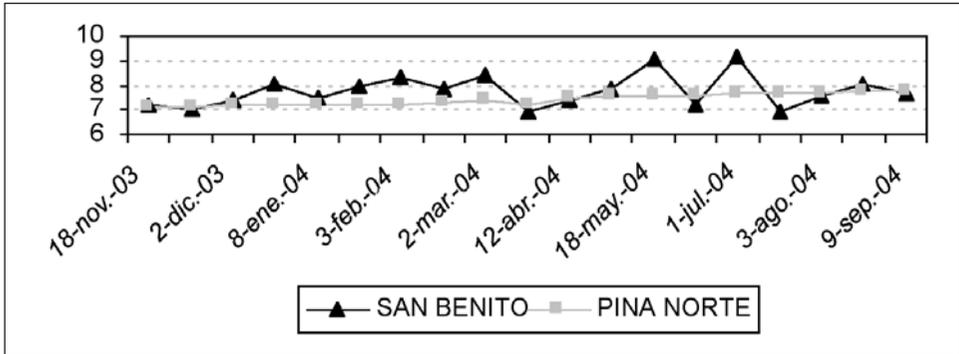


Fig. 6. Evolución del pH en las dos balsas de estudio a lo largo del periodo de muestreo.

c) Nutrientes

Las concentraciones medias de fósforo total en ambas balsas reflejan condiciones distintas en cuanto a niveles de productividad. En la balsa de San Benito la concentración media ($0,036 \pm 0,027$ mg/l) corresponde al tipo mesotrófico (WETZEL, 2001); sin embargo, como refleja la elevada desviación típica, los valores se mueven desde niveles oligotróficos en enero ($0,010$ mg/l) incrementándose hasta alcanzar valores eutróficos en octubre ($0,106$ mg/l).

En Pina Norte no se da un crecimiento continuado de este nutriente, sino que se producen ascensos y descensos importantes. El agua es de carácter eutrófico-hipereutrófico, con una concentración media anual de $0,112 \pm 0,054$ mg/l.

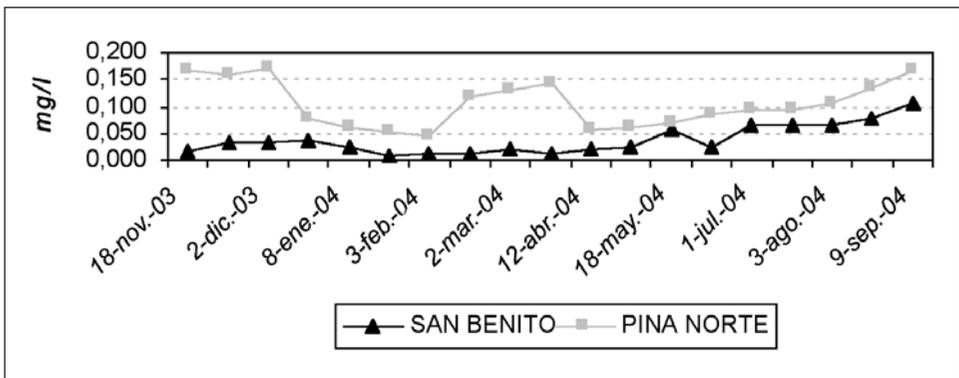


Fig. 7. Evolución del fósforo en las dos balsas de estudio a lo largo del periodo de muestreo.

Pina Norte presenta una carga mayor de nitrógeno en forma de nitratos, nitritos y amonio que con el aumento de la actividad biológica en primavera-verano disminuyen su concentración considerablemente.

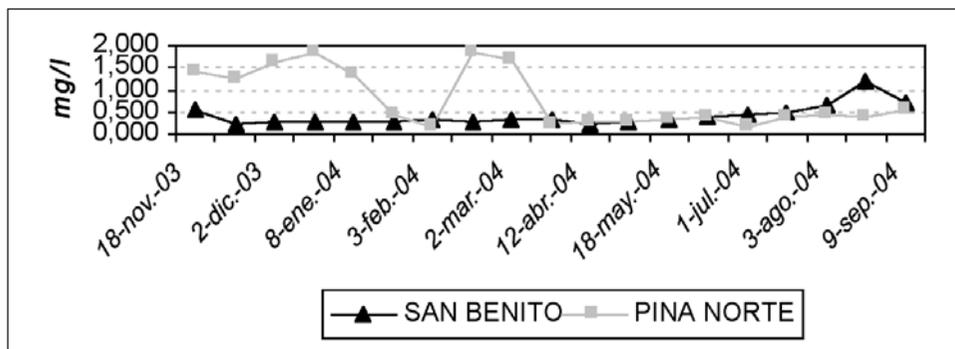


Fig. 8. Evolución de los nitratos en las dos balsas de estudio a lo largo del periodo de muestreo.

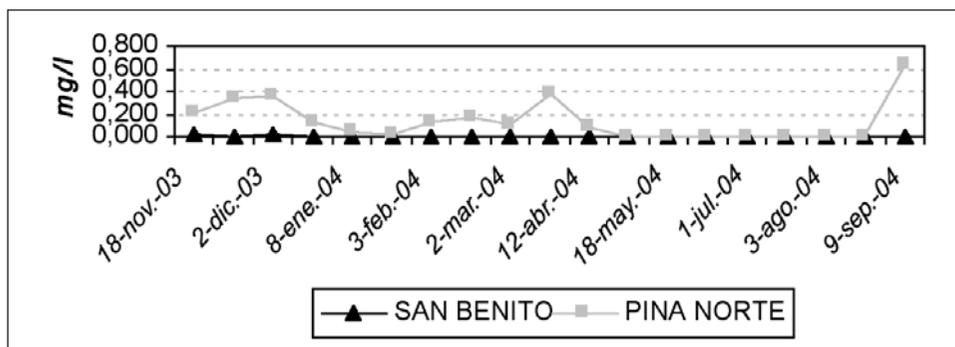


Fig. 9. Evolución de los nitritos en las dos balsas de estudio a lo largo del periodo de muestreo.

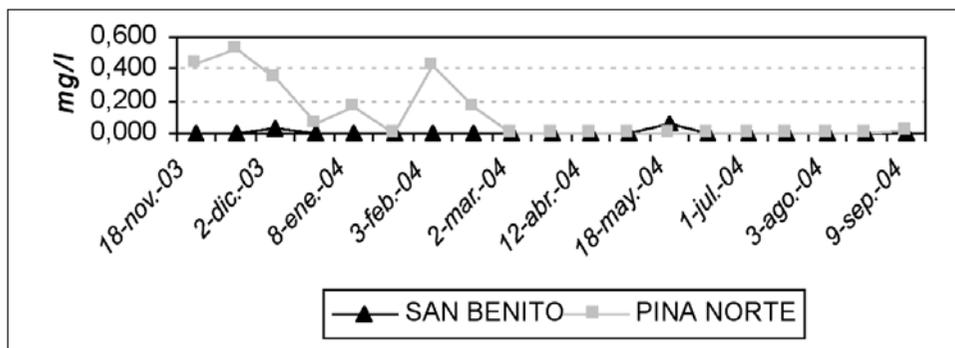


Fig. 10. Evolución del amonio en las dos balsas de estudio a lo largo del periodo de muestreo.

d) Turbidez

Valores normales y uniformes de turbidez en la balsa de San Benito hasta mayo pero especialmente junio, cuando alcanza 126 NTU. En la balsa de Pina Norte la cantidad media de sólidos en suspensión es muy superior durante todo el año ($83,72 \pm 51,54$ NTU frente a $16,72 \pm 24,07$ NTU); la concentración más elevada se da a mediados de noviembre de 2004 (200 NTU).

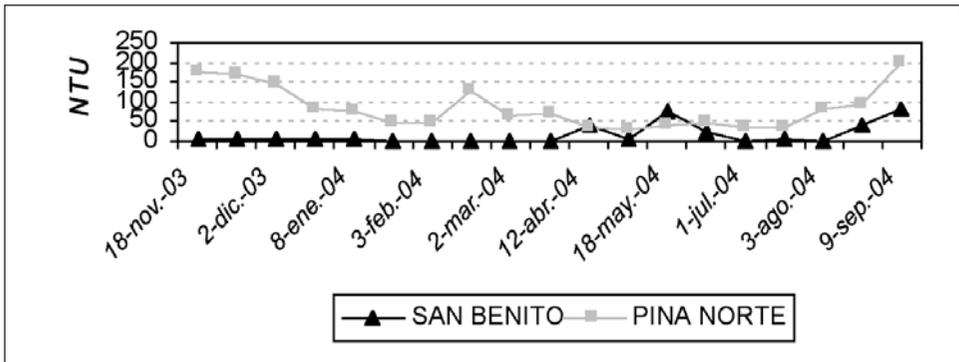


Fig. 11. Evolución de la turbidez en las dos balsas de estudio a lo largo del periodo de muestreo.

Macroinvertebrados

Listado total de taxones

Encontramos al menos 31 familias en el conjunto de las dos balsas (considerando una única familia de oligoquetos y de ácaros acuáticos), de las cuales 17 son comunes a ambas.

En Pina Norte aparecieron 25 familias en total, de las cuales 8 eran específicas de esta balsa: 3 coleópteros (Adephaga), 1 díptero, 1 hirudíneo, 1 oligoqueto, 1 bivalvo y 1 gasterópodo.

El número de familias en San Benito es de 23, con 6 específicas de esta: 4 coleópteros (1 Adephaga y 3 Polyphaga), 1 díptero y 1 efemeróptero.

A continuación se expone el listado de los taxones que aparecieron en el total de los muestreos, indicando su presencia en las balsas de Pina Norte (PN) y/o San Benito (SB).

Phylum ArthropodaClase *Arachnida*Infraclasse *Acaromorpha*Orden *Prostigmata* (Hydracarina) (PN y SB)Clase *Insecta*Orden *Coleoptera*Suborden *Adephaga**Dytiscidae****Graphoderus* (PN)*****Hyphydrus* (PN)*****Laccophilus* (PN)***Gyrinidae****Gyrinus* (PN)***Haliplidae****Peltodytes* (SB)***Hygrobiidae****Hygrobia hermanni* (PN)***Noteridae****Noterus* (PN y SB)**Suborden *Polyphaga**Chrysomelidae****Donacia* (SB)***Dryopidae****Dryops* (SB)***Hydrophilidae****Berosus* (PN y SB)*****Enochrus* (SB)*****Hydrophilus* (SB)***Helophoridae****Helophorus* (SB)**Orden *Diptera*Suborden *Nematocera**Ceratopogonidae**Ceratopogoninae* sf. (PN y SB)*Chaoboridae****Chaoborus* (PN)***Chironomidae* (PN y SB)*Culicidae**Anophelinae* sf.: ***Anopheles* (PN y SB)***Culicinae* (SB)

Dixidae

***Dixella* (PN y SB)**

Psychodidae (SB)

Suborden *Brachycera*

Stratiomyidae (PN y SB)

Orden *Ephemeroptera*

Baetidae (PN y SB)

Caenidae

***Caenis* (SB)**

Orden *Hemiptera*

Suborden *Heteroptera*

Infraorden *Nepomorpha*

Pleidae

***Plea minutissima* (PN y SB)**

Notonectidae

***Notonecta* (PN y SB)**

Naucoridae

***Naucoris maculatus* (PN y SB)**

Corixidae (PN y SB)

Orden *Odonata*

Suborden *Anisoptera*

Aeshnidae (PN y SB)

Libellulidae (PN y SB)

Suborden *Zygoptera*

Coenagrionidae (PN y SB)

Phylum *Annelida*

Clase *Hirudinae*

Glossiphonidae (PN)

Clase *Oligochaeta*

Tubificidae (PN)

Phylum *Mollusca*

Clase *Bivalvia*

Sphaeriidae: ***Musculium (Sphaerium) lacustre* (PN)**

Clase *Gastropoda*

Ancylidae (Ferrissidae)

***Ferrissia clessiniana* (PN)**

Physidae

***Physella (Costatella) acuta* (PN y SB)**

Taxones predominantes

Existe un conjunto de macroinvertebrados, comunes a ambas balsas, que se caracterizan por una presencia permanente a lo largo de todo el año de muestreo y una frecuencia relativa importante (en ocasiones, superior al 50%). Vienen representados por cuatro familias: Baetidae, Chironomidae, Physidae y Corixidae.

Frecuencias relativas también importantes presentan dos taxones específicos de la balsa de Pina Norte: la clase Oligochaeta y la especie *Musculium lacustre* (Sphaeriidae).

La primera aparece a lo largo de todo el año, y alcanza su abundancia máxima en mayo-junio. Los oligoquetos muestran preferencia por los hábitats dominados por sedimentos (JEFFRIES, 2005) y son especialmente abundantes en aguas ricas en materia orgánica (ESTEBAN, 1997).

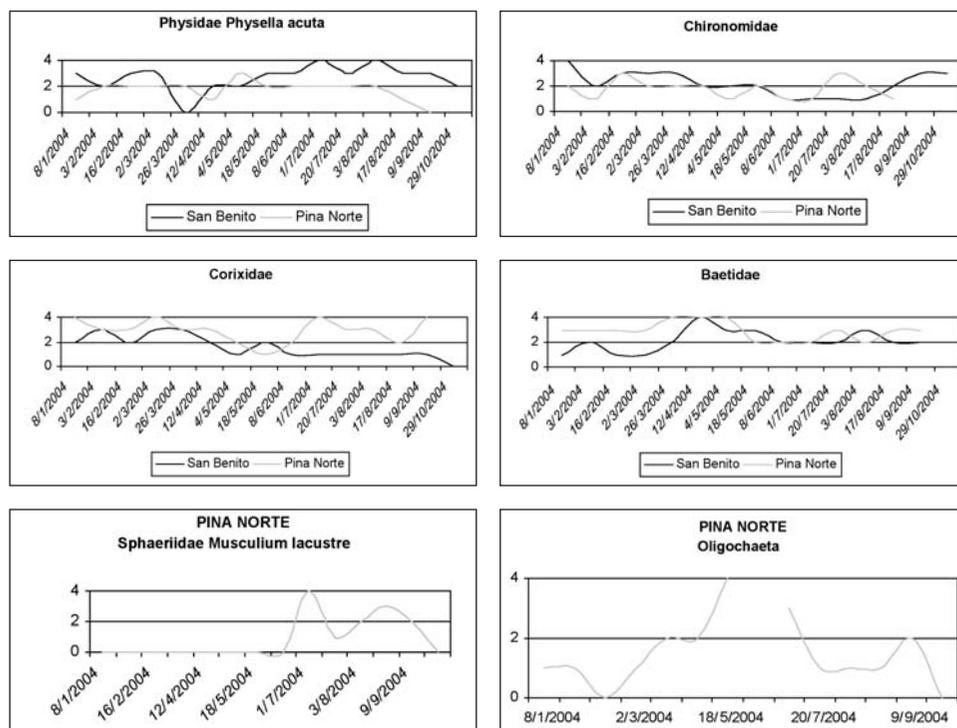


Fig. 12. Taxones que, al menos en una muestra, representan más del 50% (abundancia 4) del total de individuos.

El bivalvo *Musculium lacustre* presenta estrategias de reproducción que se adaptan a las condiciones climáticas donde se encuentra, a través de ciclos de vida cortos y periodos de diapausa (CONSTANZE et alii, 2001; MOUTHON, 2004). Su presencia es un buen indicador de aguas con una elevada calidad ecológica, debido a su gran sensibilidad a la contaminación al bioacumular contaminantes en la filtración.

Taxones diferenciales

Las comunidades de fauna acuática responden a la variabilidad ambiental existente entre las balsas de Pina Norte y San Benito; es decir, son los grupos que presentan las características biológicas y las estrategias ecológicas más apropiadas para cada tipo de hábitat los que van a ser seleccionados (TACHET et alii, 2003).

El estudio del conjunto de macroinvertebrados específico de cada balsa nos da una información clara sobre las propiedades de los ambientes colonizados y su comparación nos permitirá hacer un análisis de los posibles factores de variabilidad en las balsas de tierra de Los Monegros.

Se relaciona a continuación el listado de taxones específicos de cada balsa:

Taxones específicos de Pina Norte

Mollusca

Ferrissia clessiniana

Sphaeriidae Musculium lacustre

Anelida

Oligochaeta Tubificidae

Acheta Glossiphonidae

Coleoptera

Adephaga:

Hygrobiiidae Hygrobia hermanni

Dytiscidae Graphoderus

Dytiscidae Hyphydrus

Dytiscidae Laccophilus

Gyrinidae Gyrinus

Diptera

Chaoboridae Chaoborus

Taxones específicos de San Benito

Ephemeroptera

Caenidae Caenis

Diptera

*Culicidae sf. Culicinae**Psychodidae*

Coleoptera

Polyphaga:

*Hydrophilidae Enochrus**Hydrophilidae Hydrophilus**Helophoridae Helophorus**Dryopidae Dryops**Chrysomelidae Donaciinae Donacia*

Adephaga:

Halplidae Peltodytes

Destaca una predominancia de coleópteros, mejor adaptados a la vida acuática (suborden Adephaga), en Pina Norte, frente al suborden Polyphaga en San Benito.

En San Benito estos organismos se caracterizan por una abundancia relativa muy baja, inferior al 5%; aparecen de manera muy puntual en todo el año de muestreo, excepto la familia Caenidae (Fig. 13).

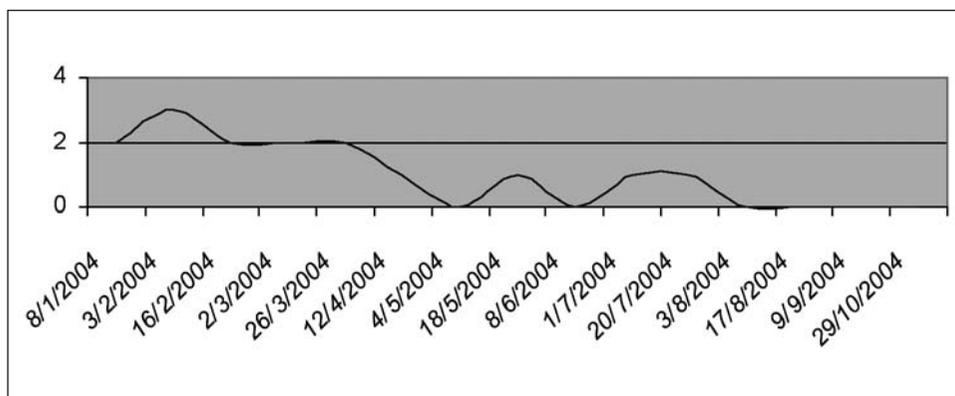


Fig. 13. Evolución de la abundancia relativa de la familia Caenidae en la balsa de San Benito.

Varios macroinvertebrados específicos de la balsa de Pina Norte presentan una abundancia relativa superior al 5% en diversas muestras a lo largo del año: *Oligochaeta*, *Musculium lacustre* (Sphaeriidae), *Ferrissia clessiniana* (Ancyliidae), *Laccophilus* (Dytiscidae) y *Chaoborus* (Chaoboridae) (Fig. 14).

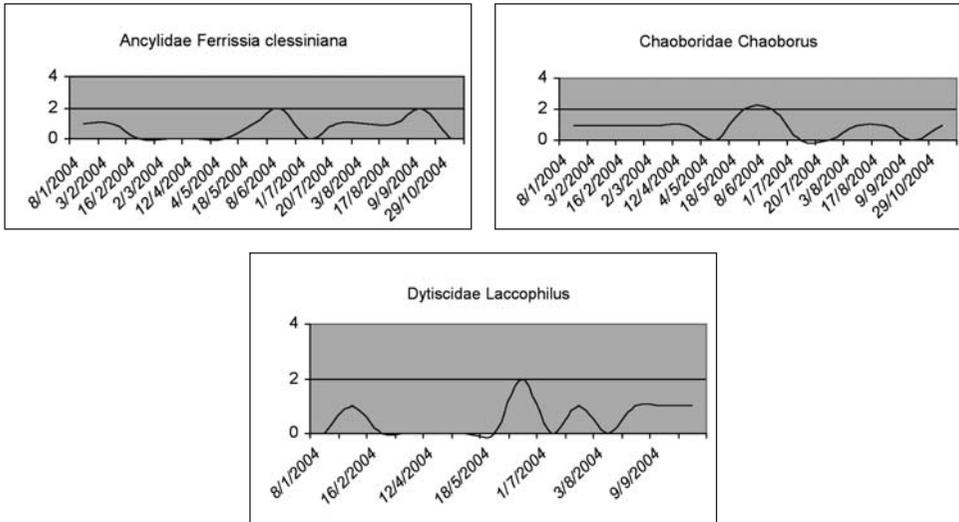


Fig. 14. Evolución de las abundancias relativas de diferentes familias en la balsa de Pina Norte.

Características biológicas

Los macroinvertebrados de Pina Norte tienden a alcanzar en su fase adulta tallas superiores a los de San Benito, con mayor tendencia a ciclos vitales largos (mayores que un año) y una sola generación por año, frente a varias.

Pina Norte tiene más organismos, frente a San Benito, cuya fase adulta es acuática, sin aparente afinidad por las puestas terrestres y con menor dispersión aérea activa.

En la balsa de Pina Norte las estrategias de oviposición más primitivas —huevos aislados— no se dan. Destaca el ovoviviparismo, debido al bivalvo *Musculium lacustre*. En San Benito los huevos o puestas son fijos, en su mayoría, y existen puestas terrestres (15%) (Fig. 15).

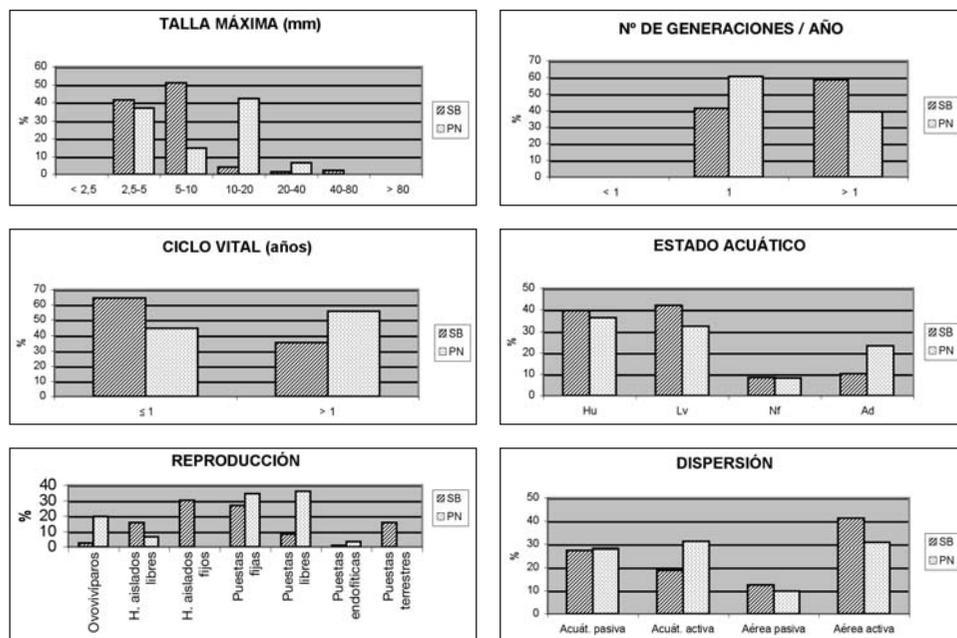


Fig. 15. Características biológicas de los macroinvertebrados de las balsas de estudio.

El 51% del tipo de alimento en San Benito lo constituyen los elementos orgánicos, principalmente finos (< 1 mm). El 35% de la alimentación es vegetal, ya sean micrófitos o macrófitos; el resto (14%), animal, principalmente animales muertos de tamaño mayor a 1 milímetro. En cuanto al modo de alimentación, el 37% de los macroinvertebrados específicos de esta balsa se alimentan de los sedimentos que se depositan y también ese mismo porcentaje utiliza como estrategia la fragmentación. Ambos sistemas de alimentación requieren poca especialización del aparato bucal.

En Pina Norte solo el 14% de la alimentación está basada en restos orgánicos. Los alimentos vegetales vivos, fundamentalmente micrófitos, representan el 23%, y es la predación de animales (micro y macroinvertebrados vivos) la principal fuente de alimentación (57%). Cobra relevancia en esta balsa la filtración de plancton frente a una ausencia de alimentación sobre el sedimento (Fig. 16). Destacan asimismo la predación directa (24%) y los organismos agujereadores (18%).

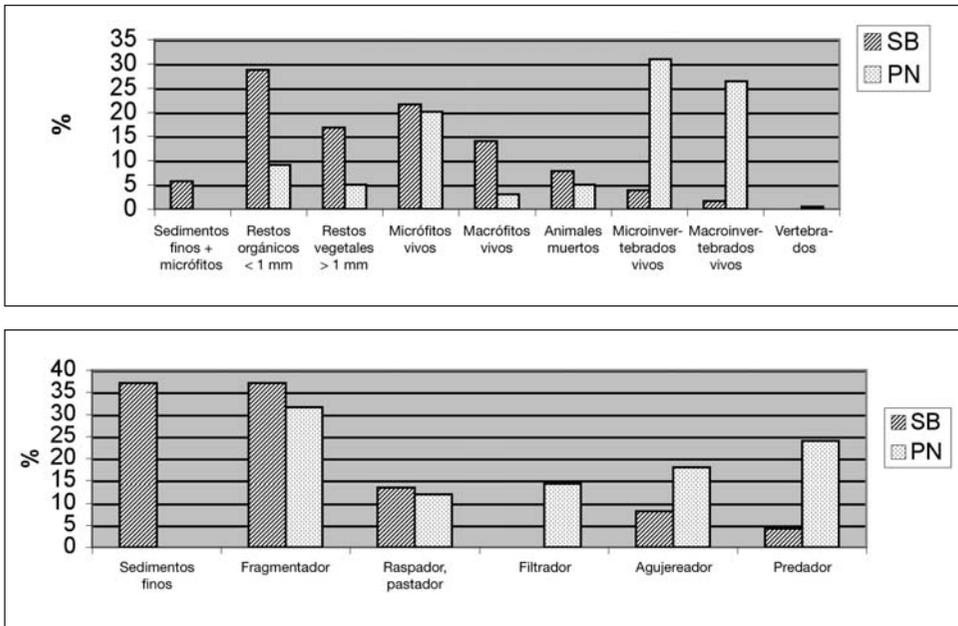


Fig. 16. Tipos y modos de alimentación de los macroinvertebrados en las balsas estudiadas.

Características ecológicas

Se observa, en general, una mayor amplitud ecológica en los organismos que habitan la balsa de San Benito que en los de Pina Norte. Esta viene reflejada en una mayor distribución altitudinal, un mayor número de humedales potencialmente colonizables y una mayor adaptación a corrientes de hasta 50 cm/s. En efecto, los macroinvertebrados acuáticos de San Benito pueden colonizar sistemas lóticos en mayor grado y parecen tener menor afinidad por sistemas más terrestrializados, como marismas y turberas, que Pina Norte.

En lo que se refiere al tipo de microhábitat preferido, existe una mayor afinidad en ambas balsas por aquellos donde la materia orgánica es dominante: ramas y raíces, hojarasca y fango; y por los vegetales, esencialmente macrófitos. Esta mayor afinidad por sustratos orgánicos frente a los minerales es algo superior en Pina Norte, donde los primeros representan el 74%, que en San Benito, con 67%.

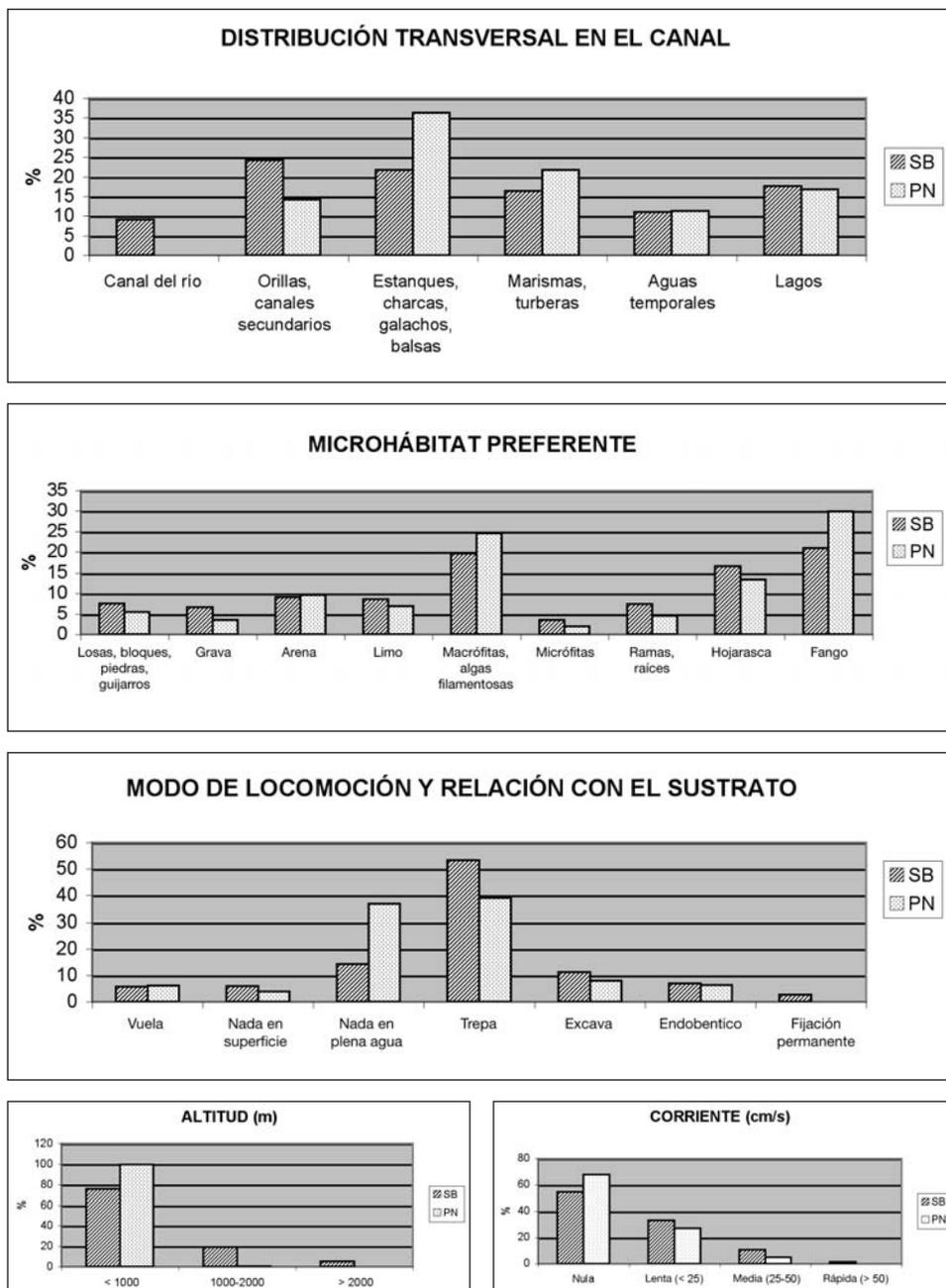


Fig. 17. Características ecológicas de los macroinvertebrados de las balsas de San Benito y Pina Norte.

El 53% de los macroinvertebrados específicos de la balsa de San Benito se desplazan adhiriéndose al sustrato; solo el 14% son planctónicos o nectónicos. En Pina Norte ambas modalidades de locomoción igualan su proporción, representando un 76% del total.

DISCUSIÓN

Son varios los parámetros diferenciadores que hemos podido determinar en las balsas de San Benito y Pina Norte tras su estudio: tamaño, sustrato geológico, estado evolutivo en el proceso de colmatación, conectividad, carga ganadera y, derivada de los anteriores, la hidrología e hidroquímica de sus aguas. Estos parámetros configuran dos ecosistemas distintos donde encontramos organismos adaptados a unas condiciones particulares.

Un mayor tamaño define una mayor heterogeneidad de hábitats, y, por tanto, una mayor riqueza taxonómica de macroinvertebrados (JEFFRIES, 2005); este no es el caso y ello es debido probablemente a un mayor efecto sobre dicha riqueza del estadio evolutivo.

Otro efecto importante del tamaño en este caso está muy relacionado con la carga ganadera. En efecto, la concentración de nutrientes es superior en Pina Norte, donde la capacidad de autodepuración no supera la frecuencia de paso del ganado. En San Benito, de superficie seis veces mayor y, por tanto, un volumen de agua importante, el sistema parece regular de manera eficaz una entrada de nutrientes mucho mayor (3000 ovejas diarias frente a unas 400). En este aspecto un tercer factor regulador, la litología, entra en juego. Así, la elevada concentración de Ca en la balsa de San Benito tendería a mantener la concentración de fósforo en el agua a un nivel más bajo (MARGALEF, 1983).

De este modo se produce en Pina Norte una sobrecarga de nutrientes que favorece el desarrollo de algas y disminuye la reserva de oxígeno en la zona más profunda. En consecuencia, los organismos específicos de esta balsa parecen evitar el sedimento como fuente de alimentación, apareciendo organismos con afinidad por aguas ricas en materia orgánica y resistentes al déficit de oxígeno (Tubificidae, Hirudinea) (ESTEBAN, 1997).

La variedad de balsas en el paisaje y su evolución a lo largo de los años conducen a la dispersión y distribución de los macroinvertebrados. Una

baja densidad de balsas en los territorios al sur de la sierra de Alcubierre generaría la colonización de dichos cuerpos de agua por organismos con una elevada capacidad de dispersión activa, es decir, aérea, ya que la conectividad hidrológica es prácticamente nula.

Este hecho parece reflejarse en varios aspectos ecológicos y biológicos de los organismos que han colonizado cada una de las balsas. Así, los grupos específicos de la balsa de San Benito presentan menos taxones cuya fase adulta es acuática y con una mayor proporción de organismos que realizan una aérea activa, con respecto a otras estrategias de dispersión, que Pina Norte. En esta última, además, los macroinvertebrados tienden a poner siempre sus huevos o puestas en el agua, mientras que en San Benito se dan casos de oviposición terrestre.

La colonización de la balsa de San Benito por macroinvertebrados desde otros ecosistemas acuáticos explicaría su elevada plasticidad ecológica, frente a una mayor especialización a ecosistemas lénticos más terrestrializados como son las balsas de tierra, especialmente en Pina Norte, donde el estado de colmatación es importante.

Quizá el factor más importante de variabilidad en las balsas de Los Monegros sea el estadio evolutivo en el proceso de su colmatación. A lo largo de dicho proceso se producen cambios en variables correlacionadas con la riqueza específica de macroinvertebrados acuáticos (ANGÉLIBERT et alii, 2004; DELLA BELLA et alii, 2005): grado de cobertura vegetal, riqueza florística, características fisicoquímicas y variabilidad nictemeral y/o vertical de parámetros como la temperatura, el oxígeno disuelto o el nivel del agua.

Estados de sucesión más avanzados son los más ricos biológicamente (BIGGS et alii, 2005). En ellos la mayor riqueza florística ofrece mayor diversidad de hábitats (TACHET et alii, 2003). Una mayor cobertura vegetal disminuye la tasa de predación de peces y anfibios y aumenta el área disponible para la colonización de distintas especies. En efecto, en Pina Norte es mayor la tendencia de los organismos a desplazarse en pleno agua (planc-tónicos o nectónicos), y mayores sus adaptaciones a la movilidad acuática (Coleoptera Adep-haga).

Una mayor complejidad en el sistema, así como una disminución de la presión de predadores de gran tamaño, en este caso anfibios, confiere un

papel importante a los macroinvertebrados en los niveles tróficos superiores de la balsa de Pina Norte. Del mismo modo, una concentración probablemente importante de zoo y fitoplancton —reflejada en una alta turbidez— potenciaría la aparición de organismos filtradores, como *Musculium lacustre*, cuya abundancia es significativa, y predadores de microinvertebrados. Por último, la relativamente importante población de oligoquetos serviría como fuente de alimento a otros taxones, como Glossiphonidae, algunas de cuyas especies pueden vivir también durante largo tiempo en condiciones de baja concentración e incluso ausencia de oxígeno (ESTEBAN, 1997).

Por último, las balsas que presentan estadios sucesionales más evolucionados comparten menos características ambientales con otro tipo de humedales y presentarían, por tanto, una fauna adaptada a unas condiciones más específicas. Ello explicaría también en parte la menor amplitud ecológica que presentaban los invertebrados de Pina Norte.

En este estudio no podemos hacer comparaciones en términos de riqueza específica al no haber determinado todos los taxones hasta dicho nivel. Sin embargo, la riqueza en familias es sensiblemente superior en Pina Norte, por posibles causas ya razonadas; aunque no hay que olvidar que la carga de nutrientes debido a la actividad ganadera en este tipo de humedales puede afectar a la riqueza específica (MENETREY et alii, 2005).

CONCLUSIONES

La composición y estructura funcional de las comunidades de macroinvertebrados de los ecosistemas estudiados no es homogénea, sino que se diversifica en función de factores tan diversos como el tamaño, el sustrato geológico, el estado evolutivo en el proceso de colmatación, la conectividad, la carga ganadera y, derivada de los anteriores, la hidrología e hidroquímica de sus aguas. En Los Monegros los distintos usos de estas balsas, así como su evolución histórica, han definido una red heterogénea que permite el mantenimiento de metacomunidades y tiene un papel fundamental en la biodiversidad acuática regional.

El estado evolutivo de las balsas es el principal factor diferenciador de las características del ecosistema, junto con la conectividad hidrológica. Los estadios más avanzados albergan taxones más especializados, así

como estructuras de las comunidades más complejas. Por otra parte, la conectividad permite la colonización de los humedales más recientes e influye en la composición taxonómica y funcional de las comunidades de macroinvertebrados.

Este estudio enfatiza sobre la necesidad de conservar una densidad de balsas en distintos estados evolutivos lo suficientemente alta como para mantener la biodiversidad acuática. Estudios más a fondo sobre el papel del proceso de colmatación y la conectividad en la composición, estructura y dinámica de estas comunidades de macroinvertebrados en las condiciones particulares de la región de Los Monegros permitirían llevar a cabo planes de gestión adecuados de ecosistemas tan valiosos como estos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGELIBERT, S.; MARTY, P.; CÉRÉGHINO, R., & GIANI, N. (2004). Seasonal variations in the physical and chemical characteristics of ponds: implications for biodiversity conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 14: 439-456.
- BIGGS, J.; WILLIAMS, P.; WHITFIELD, M.; NICOLET, P., & WEATHERBY, A. (2005). 15 years of pond assessment in Britain: results and lessons learned from the work of pond conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 15: 693-714.
- BRIERS, R. A., & BIGGS, J. (2005). Spatial patterns in pond invertebrate communities: separating environmental and distance effects. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 15: 549-557.
- CONSTANZE, S.; O'TOOLE, S., & WILSON, J. G. (2001). Population dynamics of *Musculium lacustre* in Ireland's temperate climate. *Bulletin of the Malacological Society of London*, 37: 9.
- DELLA BELLA, V.; BAZZANTI, M., & CHIAROTTI, F. (2005). Macroinvertebrate diversity and conservation status for Mediterranean ponds in Italy: water permanence and mesohabitat influence. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 15: 583-600.
- ESTEBAN, M. L. (1997). *El mirlo acuático (Cinclus cinclus L. 1758) en Navarra. Su importancia como indicador de calidad de aguas*. Tesis doctoral. Departamento de Zoología y Ecología. Universidad de Navarra. Pamplona.
- JEFFRIES, M. (2005). Small ponds and big landscapes: the challenge of invertebrate spatial and temporal dynamics for European pond conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 15: 541-547.
- MARGALEF, R. (1948). *Flora, fauna y comunidades bióticas de las aguas dulces del Pirineo de la Cerdaña*. Zaragoza. Monografías de la Estación de Estudios Pirenaicos.

- MARGALEF, R. (1983). *Limnología*. Omega. Barcelona.
- MENETREY, N.; SAGER, L.; OERTLI, B., & LACHAVANNE, J.-B. (2005). Looking for metrics to assess the trophic state of ponds. Macroinvertebrates and amphibians. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 15: 653-664.
- MOUTHON, J. (2004). Life cycle of *Musculium lacustre* (Bivalvia: Sphaeriidae) in the Saône river at Lyon (France): a curious life strategy. *Annales de Limnologie*, 40: 279-284.
- OERTLI, B.; BIGGS, J.; CÉRÉGHINO, R.; GRILLAS, P.; JOLY, P., & LACHAVANNE, J.-B. (2005). Conservation and monitoring of pond biodiversity: introduction. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 15: 535-540.
- PEDROCCHI, C. (coord.) (1998). *Ecología de Los Monegros. La paciencia como estrategia de supervivencia*. IEA – Centro de Desarrollo de Monegros. Huesca.
- PEDROCCHI, C.; CERVANTES, J.; SANTAFÉ, J., & IPAS, M. (2002). *Inventario de los recursos hídricos de la comarca de Los Monegros*. Instituto de Estudios e Investigación de Los Monegros, Grañén (Huesca). (Inédito).
- PEDROCCHI, C., & CERVANTES, J. (2007). Los Monegros: la figura de parque nacional y el desarrollo socioeconómico de la comarca. En G. HALFFTER, S. GUEVARA & A. MELIC (eds.). *Hacia una cultura de conservación de la diversidad biológica*: 263-271. SEA (Monografías Tercer Milenio). Zaragoza.
- TACHET, H.; RICHOUX, P.; BOURNAUD, M., & USSEGLIO-POLATERA, P. (2003). *Invertebrés d'eau douce (systématique, biologie, écologie)*. CNRS. París.
- WETZEL, R. G. (2001). *Limnology: lake and river ecosystems*. Academic Press. San Diego.

NOTAS SOBRE LA PRESENCIA DE ALGUNOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN EL VALLE DE ARÁN (LÉRIDA)

Javier OSCOZ¹
Pedro TOMÁS²
Miriam PARDOS³
Concha DURÁN³

RESUMEN.— Se presentan los resultados de las capturas de diferentes especies de macroinvertebrados acuáticos en seis ríos del valle de Arán. Se han clasificado catorce especies de once familias diferentes. Cabe destacar el caso de *Micrasema cenerentola* (F. Brachycentridae), pues sería la primera cita de esta especie en los Pirineos.

ABSTRACT.— The results of the captures of different species of aquatic macroinvertebrates in six rivers of Aran Valley are presented. A total of fourteen different species belonging to eleven families were classified. The capture of *Micrasema cenerentola* (F. Brachycentridae) is of particular interest, because it is recorded for the first time in the Pyrenees.

KEY WORDS.— Aquatic macroinvertebrates, Aran Valley, Pyrenees (Spain).

¹ Departamento de Zoología y Ecología. Facultad de Ciencias. Universidad de Navarra. Apdo. 177. E-31080 PAMPLONA. joscoz@alumni.unav.es

² Laboratorio de Ensayos Técnicos, S. A. (ENSAYA). Polígono Valdeconsejo, c/ Aneto, parcela 8-A. E-50410 CUARTE DE HUERVA (Zaragoza). biologia@ensaya.es

³ Área de Calidad de las Aguas. Confederación Hidrográfica del Ebro. Paseo de Sagasta, 24-28. E-50071 ZARAGOZA. mpardos@chebro.es, cduran@chebro.es

INTRODUCCIÓN

El estudio de los organismos acuáticos ha experimentado un gran auge en los últimos años, ya que pueden usarse para evaluar la biodiversidad, el ecosistema o la calidad de las aguas (METCALFE-SMITH, 1994). En este sentido, los estudios faunísticos son esenciales de cara a una mejor gestión y protección de los recursos naturales, puesto que con ellos se pueden llegar a realizar recomendaciones útiles para la gestión de algunas masas de agua, cuantificar el valor ambiental de una zona o proporcionar datos esenciales que permitan el cumplimiento de algunas normas relacionadas con la biodiversidad, como la Directiva Europea de Hábitat 92/43/CEE. Además, la importancia de los organismos vivos en el análisis y determinación del estado de los sistemas acuáticos se ha realizado aún más con la implantación de la Directiva Marco de las Aguas 2000/60/CE, la cual establece que serán los indicadores biológicos los que determinen en última instancia el estado de una masa de agua. Por todo ello, se considera importante la realización y publicación de estudios que ofrezcan datos sobre presencia o distribución de las diferentes especies de organismos acuáticos, con la finalidad de aumentar y mejorar el conocimiento sobre su distribución actual, y así contribuir a una mejor gestión de los ecosistemas acuáticos. Este tipo de estudios proporciona información a científicos, agencias públicas y gestores sobre la presencia y distribución de las especies, pudiendo ayudar en la designación de las zonas más apropiadas para la conservación de los taxones raros y de comunidades naturales inalteradas.

El presente estudio pretende contribuir a aumentar el conocimiento sobre la presencia y distribución de algunas especies de macroinvertebrados bentónicos presentes en el río Garona y alguno de sus afluentes en el valle de Arán (Lérida).

MATERIAL Y MÉTODOS

Los especímenes estudiados se han extraído de una serie de muestras recolectadas en el río Garona y alguno de sus afluentes en el valle de Arán durante el año 2006. Estos datos correspondían a los estudios sobre el estado ecológico de las aguas en función de la comunidad de macroinvertebrados

realizados por la Confederación Hidrográfica del Ebro en dicho año. Se realizaron dos campañas de muestreo (primavera-verano y otoño). En la tabla I se detalla la relación de ríos y estaciones de muestreo, junto con las coordenadas UTM y la altitud de cada una de ellas.

Las muestras se recogieron mediante una red de mano (apertura 210 x 260 mm; 0,5 mm de luz de malla) según la norma EN 27828:1994, muestreándose siguiendo el método Kick todos los hábitats diferentes hallados, proporcionalmente a su abundancia relativa. Los insectos superficiales se capturaron con la misma red. El muestreo finalizaba cuando nuevas redadas no aportaban nuevas familias (JÁIMEZ-CUÉLLAR et alii, 2002). La muestra se fijó en el lugar de captura con formaldehído al 4%. Una vez en el laboratorio el formaldehído era sustituido por etanol al 70%, clasificándose los diferentes organismos, anotándose además la calidad del agua existente en el tramo calculada de acuerdo con el índice IBMWP (ALBA-TERCEDOR y SÁNCHEZ-ORTEGA, 1988; ALBA-TERCEDOR et alii, 2002).

Tabla I. Ríos y localidades donde se han hallado las diferentes especies de macroinvertebrados acuáticos en el valle de Arán (Lérida).

<i>Río</i>	<i>Localidad</i>	<i>Código</i>	<i>UTM</i>	<i>Altitud</i>
Aiguamòg	Tredós	2202	31T CH 295 296	1350
Valarties	Aguas Arriba de Artiés	2200	31T CH 259 295	1200
Garona	Artiés	2210	31T CH 263 301	1140
	Casarih	2185	31T CH 224 300	1040
	Aguas Abajo de Vielha	2186	31T CH 190 325	930
Joèu	Es Bòrdes	2187	31T CH 130 343	820
Toran	Pontaut	2198	31T CH 147 453	590
Unhòla	Unha	2184	31T CH 285 311	1300

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todas las estaciones analizadas alcanzaron un estado ecológico “Muy Bueno” de acuerdo con los valores hallados en el índice IBMWP. A continuación se recoge la relación de especies de macroinvertebrados que se han clasificado, detallándose también las estaciones en las que se han hallado.

Mollusca

F. Ancyliidae

Ancylus fluviatilis Müller, 1774

Especie paleártica occidental que habita en toda Europa. Común en aguas dulces con corriente, sobre piedras lisas, tanto en arroyos de montaña como en ríos y canales. Menos común en aguas estancadas y remansadas de charcas y lagunas. Se alimenta de algas y perifiton, y parece ser exigente respecto a la disponibilidad de oxígeno disuelto (GIROD et álii, 1980). Esta especie presenta una amplia distribución en la Península Ibérica (VIDAL-ÁBARCA & SUÁREZ, 1985). Su distribución se ve en general limitada por niveles de contaminación importante con bajos contenidos de oxígeno o por la carencia de sustrato adecuado o vegetación (RALLO & RICO, 1993). Aunque algunos autores sostienen que esta especie no coloniza las zonas altas de los Pirineos y los Alpes (TURNER et álii, 1998; PFENNINGER et álii, 2003), en la cuenca del Ebro se ha citado en un rango de altitud entre los 30 y los 1037 metros, localizándose también conchas vacías a una mayor altura (OSCOZ et álii, 2004).

Esta especie se encontró en el valle de Arán en ocho estaciones pertenecientes a seis ríos: Aiguamòg (Tredós), Valarties (Aguas Arriba de Artiés), Garona (Artiés, Casarilh y Aguas Abajo de Vielha), Joèu (Es Bòrdes), Toran (Pontaut) y Unhòla (Unha). El rango de altitud en el que se halló osciló entre los 590 y los 1350 metros.

Neuroptera

F. Sialidae

Sialis fuliginosa Pictet, 1836

Especie ampliamente distribuida por Europa, donde habita cursos fluviales de corriente moderadamente alta y los tramos superiores de los ríos (ELLIOTT, 1977; MEINANDER, 1996), siendo la especie de siárido europea más vinculada a las aguas corrientes (JACQUEMIN, 2003). Se trata de una especie frecuente también en la Península Ibérica (MONSERRAT, 1984). En la cuenca del Ebro se ha citado esta especie en una rango de altitud entre los 446 y los 870 metros (OSCOZ et álii, 2005).

Se encontró esta especie en la estación de Pontaut en el río Toran, a una altitud de 590 metros sobre el nivel del mar.

Ephemeroptera

F. Ephemerellidae

Serratella ignita Poda, 1761

Especie ampliamente extendida por toda Europa, habita preferentemente substratos de granulometría fina con vegetación sumergida, si bien se encuentra también frecuentemente sobre las piedras y cantos de torrentes con altas velocidades de corriente (BELFIORE, 1983). Esta especie ha sido citada previamente en diferentes zonas del Pirineo (NAVÁS, 1916; 1928).

Se encontraron ejemplares de esta especie en seis estaciones pertenecientes a cinco ríos: Aiguamòg (Tredós), Valarties (Aguas Arriba de Artiés), Garona (Casarilh y Aguas Abajo de Vielha), Toran (Pontaut) y Unhòla (Unha). El rango de altitud osciló entre los 590 y los 1350 metros.

Plecoptera

F. Perlidae

Dinocras cephalotes Curtis, 1827

Especie distribuida en gran parte de Europa que en la Península Ibérica ha sido ampliamente citada desde los 40 a los 2800 m de altitud (SÁNCHEZ-ORTEGA et alii, 2002; TIERNO DE FIGUEROA et alii, 2003). Es una especie depredadora de actividad principalmente nocturna habitante de ríos pedregosos con aguas rápidas. Ha sido citada como estenoterma, si bien parece ser que a bajas temperaturas los huevos pueden permanecer en un estado de latencia de casi un año esperando mejores condiciones ambientales antes de eclosionar (ZWICK, 1996; TIERNO DE FIGUEROA et alii, 2003). En la zona pirenaica había sido citada en la cabecera de algunos ríos de las cuencas del Segre, Cinca, Aragón o Gállego (NAVÁS, 1926, 1927; PUIG, 1984; PALAU & PUIG, 1992; OSCOZ & DURÁN, 2004).

En los muestreos realizados en 2006, en el valle de Arán se localizó esta especie en cinco estaciones pertenecientes a cinco ríos diferentes: Aiguamòg (Tredós), Valarties (Aguas Arriba de Artiés), Garona (Artiés), Joèu (Es Bòrdes) y Unhòla (Unha). La altitud en estas estaciones se situó entre los 820 y los 1350 metros.

Perla bipunctata Pictet, 1833

Se trata de una especie distribuida por Gran Bretaña, Europa central, Europa meridional y norte y centro de África (TIERNO DE FIGUEROA et álii, 2003), que en la Península Ibérica aparece en la franja norte entre los 500 y los 1300 m (SÁNCHEZ-ORTEGA et álii, 2002). Habita grandes cursos de agua (AUBERT, 1959), si bien también se hallan ninfas en ríos y arroyos permanentes de lecho pedregoso. Al igual que la especie anterior, es un predador nocturno que caza sobre todo al acecho. Se trata de una especie muy rara que ha sido catalogada como amenazada de extinción en algunas zonas de su área de distribución (ZWICK, 1984). Había sido citada previamente en los Pirineos en el río Cinca (OSCOZ & DURÁN, 2004).

Esta especie se encontró en la estación de Artiés en el río Garona, a una altura de 1140 metros.

Perla grandis Rambur, 1842

Especie distribuida por la mayor parte de los macizos europeos, excepto en la zona escandinava (AUBERT, 1959), en la Península Ibérica se encuentra en la mitad norte y de manera reléctica y puntual en algunas zonas de Granada y Jaén, en un rango de altitud entre los 438 y los 2500 m (SÁNCHEZ-ORTEGA et álii, 2002). La ninfa tiene una importante actividad depredadora, como ocurre en general en los Perlidae, aunque también se ha citado la presencia de materia vegetal en su dieta (BERTHÉLEMY & LAHOUD, 1981). En la zona pirenaica había sido ya citada en la cabecera de algunos ríos de la cuenca como el Segre, Cinca y Aragón (PUIG, 1984; OSCOZ & DURÁN, 2004).

Esta especie se encontró en dos estaciones de dos ríos del valle de Arán: Valarties (Aguas Arriba de Artiés) y Joèu (Es Bòrdes). Dichas estaciones se encontraban entre los 820 y los 1200 m de altitud.

Perla marginata Panzer, 1799

Especie ampliamente extendida por Europa, excepto en las islas británicas y Escandinavia (AUBERT, 1959); se encuentra también en Irán y el norte de África (SÁNCHEZ-ORTEGA et álii, 2002). Sin embargo, SIVIC & STAR (2002) consideran que los ejemplares de estas dos zonas corresponden a la

especie *Perla pallida* Guérin, 1838. La ninfa es una activa predadora que habita ríos y arroyos de aguas rápidas con sustrato de piedras y gravas (SÁNCHEZ-ORTEGA & ALBA-TERCEDOR, 1989). Se encuentra ampliamente distribuida por toda la Península Ibérica, con un margen altitudinal entre los 160 y los 2800 m (SÁNCHEZ-ORTEGA et alii, 2002), habiendo sido anteriormente citada en distintos ríos del Pirineo navarro, aragonés y catalán (NAVÁS, 1918, 1927; PUIG, 1984; PALAU & PUIG, 1992; OSCOZ & DURÁN, 2004).

Se encontraron ejemplares de esta especie en los muestreos realizados en 2006 en dos estaciones de dos ríos: Aiguamòg (Tredós) y Toran (Pontaut). Dichas estaciones estaban localizadas a 1350 y 590 metros de altitud, respectivamente.

Trichoptera

F. Brachycentridae

Micrasema cenerentola Schmid, 1952

Se trata de una especie endémica de la Península Ibérica, que ha sido citada en Ávila y en Lugo (GONZÁLEZ et alii, 1992; VIEIRA-LANERO, 2000; BOTOSANEANU & GONZÁLEZ, 2006). Las larvas de esta especie habitan pequeños torrentes de cabecera con fuerte pendiente, habiéndose encontrado en Galicia entre los 1150 y los 2380 metros (VIEIRA-LANERO, 2000).

Se han hallado larvas de esta especie en dos estaciones de dos ríos del valle de Arán: Valarties (Aguas Arriba de Artiés) y Joèu (Es Bòrdes). Dichas estaciones se localizaban a 1200 y 820 metros de altitud, respectivamente. Estas capturas representarían las primeras citas de esta especie en el área pirenaica.

F. Hydropsychidae

Hydropsyche siltalai Döhler, 1963

Especie distribuida por Europa y Anatolia, se encuentra ampliamente presente por la Península Ibérica. A pesar de que la especie habita todos los tramos de los ríos, con un rango de altitud entre los 5 y los 800 metros, su hábitat preferencial son los ríos y arroyos de corriente rápida y sustrato pedregoso, de altitudes elevadas y medias (VIEIRA-LANERO, 2000). Posee una notable tolerancia a la contaminación orgánica (HIGLER & TOLKAMP,

1983), si bien si la eutrofización es severa desaparece, quedando solo en tramos más altos de los ríos con menor contaminación.

Esta especie se encontró en un punto del valle de Arán, el río Toran en Pontaut, a una altura de 590 metros.

F. Odontoceridae

Odontocerum albicorne Scopoli, 1763

Es una especie ampliamente distribuida por Europa, que en la Península Ibérica se distribuye únicamente en su mitad norte. Se ha señalado para esta especie una distribución altitudinal entre los 170 y los 1440 metros. Aunque algunos autores (por ejemplo, BOURNAUD et álii, 1980) mencionan que es una especie de tramos medios y bajos de los ríos, se considera que preferentemente ocupa tramos altos de arroyos y ríos de montaña, con sustratos pedregosos y aguas frías y bien oxigenadas (DÉCAMPS, 1968; CORTÉS et álii, 1986; VIEIRA-LANERO, 2000). Su distribución se ve limitada por factores tales como las temperaturas elevadas, la turbidez y las sustancias contaminantes. En el Pirineo ha sido citada por NAVÁS (1917).

Se hallaron ejemplares de esta especie en dos estaciones de dos ríos del valle de Arán, el río Aiguamòg en Tredós y el río Joèu en Es Bòrdes, con un rango de altitud entre los 820 y los 1350 metros.

F. Philopotamidae

Philopotamus montanus Donovan, 1813

Especie con una amplia distribución, tanto en Europa como en la Península Ibérica. Presenta una gran variación altitudinal, habiendo sido citada en la Península Ibérica en un rango altitudinal entre los 20 y los 1600 metros (VIEIRA-LANERO, 2000). Habita preferentemente los tramos altos de ríos y arroyos de montaña con aguas rápidas. Por su baja tolerancia a la contaminación se la considera una especie indicadora de la buena calidad de las aguas (GONZÁLEZ DEL TÁNAGO y GARCÍA DE JALÓN, 1984). En el área pirenaica fue ya citada por NAVÁS (1917, 1926) en Huesca.

Esta especie se halló en dos localidades de dos ríos, el río Aiguamòg en Tredós y el río Toran en Pontaut. Dichas localidades se localizaban en un rango de altitud entre los 590 y los 1350 metros.

F. Psychomyidae

Psychomyia pusilla Fabricius, 1781

Es una especie que habita toda Europa, extendiéndose también por el norte de África y Asia sudoccidental (hasta Irán). Se encuentra ampliamente distribuida por toda la Península Ibérica, habitando todos los tramos de los ríos. En Galicia se le señala un rango de altitud entre los 10 y los 1100 metros (VIEIRA-LANERO, 2000). En la zona pirenaica fue ya citada en Lérida por NAVÁS (1917, 1918). Esta especie tolera condiciones de eutrofia por fuerte mineralización de las aguas y vertidos industriales (MILLET & PRAT, 1984).

Esta especie fue localizada en el valle de Arán en el río Toran en la localidad de Pontaut, a 590 metros de altura.

F. Rhyacophilidae

Rhyacophila tristis Pictet, 1834

Especie cuya distribución abarca Europa central y meridional, así como Anatolia (GONZÁLEZ et alii, 1992). En la Península Ibérica su área de distribución comprende la mitad norte. En Galicia presenta un amplio rango altitudinal (15-1380 metros) (VIEIRA-LANERO, 2000), habiendo sido citada en la parte alta del Garona a más de 1900 metros (NAVÁS, 1928). Las condiciones óptimas para su desarrollo las encuentra en las aguas frías y lóxicas de los tramos de cabecera de ríos y arroyos. Es poco tolerante a la contaminación orgánica, y requiere altas concentraciones de oxígeno disuelto (BASAGUREN, 1990).

Esta especie se encontró en un rango de altura entre los 1200 y los 1350 metros, en tres localidades de tres ríos: Aiguamòg (Tredós), Valarties (Aguas Arriba de Artiés) y Unhòla (Unha).

F. Uenoidae

Thremma gallicum McLachlan, 1880

Especie distribuida por Europa sudoccidental, que en la Península Ibérica presenta una amplia distribución por su mitad norte. Es una especie con fuerte carácter reofílico, que se halla principalmente en fuentes y pequeñas

corrientes de agua, habiéndose citado en un rango de altitud entre los 10 y los 2200 metros (VIEIRA-LANERO, 2000).

Se encontró esta especie en la localidad de Tredós en el río Aiguamòg, a una altura de 1350 metros.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al Servicio de Guarderío y al Conseilh Generau d'Aran por su amabilidad y colaboración para poder realizar los muestreos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBA-TERCEDOR, J., & SÁNCHEZ-ORTEGA, A. (1988). Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnetica*, 4: 51-56.
- ALBA-TERCEDOR, J.; JÁIMEZ-CUÉLLAR, P.; ÁLVAREZ, M.; AVILÉS, J.; BONADA, N.; CASAS, J.; MELLADO, A.; ORTEGA, M.; PARDO, I.; PRAT, N.; RIERADEVALL, M.; ROBLES, S.; SÁINZ-CANTERO, C. E.; SÁNCHEZ-ORTEGA, A.; SUÁREZ, M. L.; TORO, M.; VIDAL-ABARCA, M. R.; VIVAS, S., & ZAMORA-MUÑOZ, C. (2002). Caracterización del estado ecológico de ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP⁺). *Limnetica*, 21(3-4): 175-185.
- AUBERT, J. (1959). *Plecoptera*. Insecta Helvetica. Fauna, I. La Concorde. Lausanne. 140 pp.
- BASAGUREN, A. (1990). *Los tricópteros de la red hidrográfica de Bizkaia*. Tesis doctoral. Universidad del País Vasco. 603 pp.
- BELFIORE, C. (1983). *Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane*. 24. *Efemeroteri (Ephemeroptera)*. Consiglio Nazionale delle Ricerche. AQ/1/201. Verona. 113 pp.
- BERTHÉLEMY, C., & LAHOUD, M. (1981). Régimes alimentaires et pièces buccales de quelques Perlodidae et Perlidae des Pyrénées (Plecoptera). *Annales de Limnologie*, 17(1): 1-24.
- BOTOSANEANU, L., & GONZÁLEZ, M. A. (2006). Un difficile problème de taxonomie: les *Micrasema* (Trichoptera: Brachycentridae) des eaux courantes de la Péninsule Ibérique et des Pyrénées. *Ann. Soc. Entomol. Fr. (n. s.)*, 42(1): 119-127.
- BOURNAUD, M.; KECK, G., & RICHOUX, P. (1980). Les prélèvements de macroinvertébrés benthiques en tant que révélateurs de la physionomie d'une rivière. *Annls. Limnol.*, 16: 55-75.
- CORTÉS, R. M. V.; DE KOE, T., & GRAÇA, M. A. S. (1986). Estudio de un río de montaña de una zona granítica del norte de Portugal. *Limnetica*, 2: 197-204.

- DÉCAMPS, H. (1968). Vicariances écologiques chez les Trichoptères des Pyrénées. *Annls. Limnol.*, 4(1): 1-50.
- ELLIOTT, J. M. (1977). *A key to British freshwater Megaloptera and Neuroptera*. Freshwater Biological Association. Sci. Publ., 35. 52 pp.
- GIROD, A.; BIANCHI, I., & MARIANI, M. (1980). *Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane. 7. Gasteropodi, 1 (Gastropoda: Pulmonata: Prosobranchia: Neritidae, Viviparidae, Bithniidae, Valvatidae)*. Consiglio Nazionale delle Ricerche. AQ/1/44. Verona. 86 pp.
- GONZÁLEZ, M. A.; TERRA, L. S. W.; GARCÍA DE JALÓN, D., & COBO, F. (1992). *Lista faunística y bibliográfica de los tricópteros (Trichoptera) de la Península Ibérica e Islas Baleares*. Asociación Española de Limnología. Madrid. Listas de la flora y fauna de las aguas continentales de la Península Ibérica, nº 11. 200 pp.
- GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M., & GARCÍA DE JALÓN, D. (1984). Desarrollo de un índice biológico para estimar la calidad de las aguas de la cuenca del Duero. *Limnetica*, 1: 263-272.
- HIGLER, L. W. G., & TOLKAMP, H. H. (1983). Hydropsychidae as bio-indicators. *Environm. Monit. and Assessm.*, 3: 331-341.
- JÁIMEZ-CUÉLLAR, P.; VIVAS, S.; BONADA, N.; ROBLES, S.; MELLADO, A.; ÁLVAREZ, M.; AVILÉS, J.; CASAS, J.; ORTEGA, M.; PARDO, I.; PRAT, N.; RIERADEVALL, M.; SAINZCANTERO, C. E.; SÁNCHEZ-ORTEGA, A.; SUÁREZ, M. L.; TORO, M.; VIDAL-ABARCA, M. R.; ZAMORA-MUÑOZ, C., & ALBA-TERCEDOR, J. (2002). Protocolo GUADALMED (PRECE). *Limnetica*, 21(3-4): 187-204.
- JACQUEMIN, G. (2003). *Sialis nigripes* (Pictet, 1865) en Lorraine (Megaloptera, Sialidae). *Bull. Soc. Ent.*, 10: 16-17.
- MEINANDER, M. (1996). Megaloptera Sialidae, Alder Flies. En NILSSON, A. N. (ed.). *Aquatic Insects of North Europe. A taxonomic handbook*: 105-110. Apollo Books. Stenstrup.
- METCALFE-SMITH, J. L. (1994). Biological water-quality assessment of rivers: use of macroinvertebrate community. En CALOW, P., & PETTS, G. E. (eds.). *The river handbook (II)*: 144-170. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- MILLET, X., & PRAT, N. (1984). Las comunidades de macroinvertebrados a lo largo del río Llobregat. *Limnetica*, 1: 222-233.
- MONSERRAT, V. J. (1984). Los neurópteros acuáticos de la Península Ibérica (Insecta, Neuroptera). *Limnetica*, 1: 321-335.
- NAVÁS, L. (1916). Excursions entomològiques al nord de la provincia de Lleida. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, 16(1): 150-158.
- NAVÁS, L. (1917). Comunicaciones entomológicas. 2. Excursiones entomológicas por Aragón y Navarra. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza*, 2(1): 81-91.
- NAVÁS, L. (1918). Excursiones entomológicas por el norte de la provincia de Lérida (6-24 de julio de 1917). *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, 18(1): 36-49.

- NAVÁS, L. (1926). Mis excursiones científicas en 1926. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza*, 10(1): 81-124.
- NAVÁS, L. (1927). Insectos recogidos en España por el doctor F. Haas. *Boletín de la Sociedad Entomológica de España*, 10: 121-124.
- NAVÁS, L. (1928). Comunicaciones entomológicas. 10. Mis excursiones científicas en 1927. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza*, 11(1): 79-137.
- OSCOZ, J., & DURÁN, C. (2004). Contribución al conocimiento de los plecópteros (Insecta: Plecoptera) en la cuenca del Ebro. *Munibe (Ciencias Naturales)*, 55: 183-196.
- OSCOZ, J.; DURÁN, C., & LARRAZ, M. L. (2004). Contribución al conocimiento de algunos moluscos acuáticos (Mollusca: Gastropoda) en la cuenca del Ebro. *Munibe (Ciencias Naturales)*, 55: 155-166.
- OSCOZ, J.; AGORRETA, A., & DURÁN, C. (2005). Notas sobre la presencia de síalidos (Insecta: Sialidae) en la cuenca del río Ebro (España). *Munibe (Ciencias Naturales)*, 56: 69-78.
- PALAU, A., & PUIG, M. À. (1992). Distribució espacial i temporal dels plecòpters i efemeròpters al riu Segre (Lleida). *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, 60: 121-127.
- PFENNINGER, M.; STAUBACH, S.; ALBRECHT, C.; STREIT, B., & SCHWENK, K. (2003). Ecological and morphological differentiation among cryptic evolutionary lineages in freshwater limpets of the nominal form-group *Ancylus fluviatilis* (O. F. Müller, 1774). *Molecular Ecology*, 12: 2731-2745.
- PUIG, M. À. (1984). Distribution and ecology of the stoneflies (Plecoptera) in Catalanian rivers (NE-Spain). *Annales de Limnologie*, 20(1-2): 75-80.
- RALLO, A., & RICO, E. (1993). Las familias Ancyliidae y Acroloxidae en los ríos del País Vasco (Gastropoda, Basommatophora). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Biología)*, 89(1-4): 73-81.
- SÁNCHEZ-ORTEGA, A., & ALBA-TERCEDOR, J. (1989). Características de fenología y distribución de las especies de Plecópteros de Sierra Nevada. *Boletín de la Asociación Española de Entomología*, 13: 213-230.
- SÁNCHEZ-ORTEGA, A.; ALBA-TERCEDOR, J., & TIerno DE FIGUEROA, J. M. (2002). *Lista faunística y bibliográfica de los Plecópteros (Plecóptera) de la Península Ibérica e Islas Baleares*. Asociación Española de Limnología. Madrid. Listas de la flora y fauna de las aguas continentales de la Península Ibérica, nº 16. 198 pp.
- TIerno DE FIGUEROA, J. M.; SÁNCHEZ-ORTEGA, A.; MEMBIELA IGLESIAS, P., & LUZÓN-ORTEGA, J. M. (2003). Plecoptera. En RAMOS, M. Á., et álii (eds). *Fauna Ibérica*, vol. 22. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC. Madrid. 404 pp.
- TURNER, H.; KUIPER, J. G. J.; THEW, N.; BERNASCONI, R.; RUETSCHI, J.; WUTHRICH, M., & GOSTELI, M. (1998). *Fauna Helvetica 2: Mollusca*. Centre Suisse de Cartographie de la Faune. Neuchâtel. Suiza.

- VIDAL-ABARCA, C., & SUÁREZ, M. L. (1985). *Lista faunística y bibliográfica de los moluscos (Gastropoda & Bivalvia) de las aguas continentales de la Península Ibérica e Islas Baleares*. Asociación Española de Limnología. Madrid. Listas de las flora y la fauna de las aguas continentales de la Península Ibérica, n° 2. 191 pp.
- VIEIRA-LANERO, R. (2000). *Las larvas de los tricópteros de Galicia (Insecta: Trichoptera)*. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. 613 pp.
- ZWICK, P. (1984). Rote Liste des Steinfliegen (Plecoptera). En BLAB, J.; NOWAK, E.; TRAUTMANN, W., & SUKOPP, H. (eds.). *Rote Liste der gefährdeten Tiere und Pflazen in der Bundesrepublik Deutschland Naturschutz aktuell*, n° 1, 4ª ed. Kilda Verlag. Greven. 270 pp.
- ZWICK, P. (1996). Variable egg development of *Dinocras* sp. (Plecoptera, Perlidae) and the stonefly seed bank theory. *Freshwater Biology*, 35: 81-100.

DISTRIBUCIÓN DE LOS UNGULADOS SILVESTRES EN ARAGÓN (2001-2005) DETERMINADA A PARTIR DE ENCUESTAS

Diana OSUNA¹
Carlos PRADA¹
Juan HERRERO^{2, 3}
Javier MARCO⁴

RESUMEN.— Con el fin de conocer la distribución de los ungulados silvestres en Aragón entre 2001 y 2005 se llevó a cabo una encuesta a los Agentes de Protección de la Naturaleza del Gobierno de Aragón. Se recibieron 242 encuestas de las 300 enviadas, en las que se solicitaba información relativa a la presencia o ausencia de ungulados en las cuadrículas 10 x 10 km pertenecientes a su demarcación (N = 578). El ungulado de mayor distribución es el jabalí (ocupa el 100% del territorio), seguido del corzo (59%), el ciervo (30%), la cabra montesa (23%), el sarrío (10%) y, como especies marginales, la cabra asilvestrada (3,6%), el gamo (3%) y el muflón (0,5%). Las zonas de mayor diversidad de ungulados coinciden con relieves montañosos, y las de valores más bajos, con los semidesiertos del valle medio del Ebro. No hay poblaciones silvestres de las especies alóctonas (gamos y muflones), salvo una pequeña población de gamos en Albarracín.

¹ Ega Consultores en Vida Silvestre, SLP. Sierra de Vicort, 31. E-50003 ZARAGOZA. egasl@arrakis.es

² Departamento de Ecología. Facultad de Biología. Universidad de Alcalá. E-28871 ALCALÁ DE HENARES. juan.herrero@uah.es

³ Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC). Ap. 64. E-22700 JACA (Huesca).

⁴ Ebronatura. Arpa, 6. E-50003 ZARAGOZA. javiermarco@ebronatura.com

Los mayores porcentajes de solapamiento se dan entre especies de la misma familia: cérvidos y bóvidos. Con el fin de actualizar el conocimiento sobre la distribución de estas especies, se recomienda repetir la encuesta cada cinco años.

ABSTRACT.— With a view to discovering the distribution of wild ungulates in Aragon between 2001 and 2005, a survey was sent to the rangers of the Nature Protection Agents of the Government of Aragon. 242 out of the 300 surveys sent were answered. The survey requested information related to the presence or absence of hoofed animals in the 10 x 10 km grids belonging to their district (N = 578). The wild boar is the most widely distributed hoofed animal (it occupies 100% of the territory), followed by the roe deer (59%), the deer (30%), the Iberian wild goat (23%), the chamois (10%), and, as marginal species, the feral goat (3.6%), the fallow deer (3%) and the mouflon (0.5%). The areas with greatest diversity of hoofed animals coincide with mountainous areas, and the areas with the lowest values coincide with the semi-deserts of the middle Ebro valley. There are no wild populations of alochtonous species (fallow deer and mouflon), with the exception of a small population of fallow deer in Albarracín. The largest overlapping percentages occur between species of the same family: cervidae and bovidae. In order to update the knowledge of the distribution of these species, it is recommended to repeat the inquiry every five years.

KEY WORDS.— Wild ungulates, distribution, Aragón (Spain).

INTRODUCCIÓN

Al igual que sucede en el resto de Europa, las especies aragonesas de ungulados silvestres han aumentado de forma muy destacable en las últimas décadas, favorecidas por el abandono rural, la recuperación de la vegetación natural y el aumento de las masas forestales a partir de repoblaciones, y al amparo de los espacios naturales protegidos, de las fincas privadas dedicadas a la caza mayor o de las Reservas de Caza, y ayudadas por frecuentes repoblaciones (BLANCO, 1998; GORTÁZAR et alii, 2000). Además, el despoblamiento de las áreas rurales ha motivado que diversos rebaños de cabras domésticas se hayan asilvestrado.

Esta nueva realidad tiene como consecuencia la necesidad de conocer la distribución actualizada de estas especies, muchas de las cuales se hallan en expansión, con abundancia en algunos casos importantes y todas ellas objeto de un intenso aprovechamiento cinegético.

El presente trabajo pretende conocer la distribución actual de los ungulados silvestres en Aragón durante el periodo de tiempo comprendido entre 2001 y 2005, mediante el empleo de encuestas a los Agentes de Protección de la Naturaleza (APN) del Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón y a los vigilantes contratados. En concreto, las especies objeto de análisis son jabalí (*Sus scrofa*), ciervo (*Cervus elaphus*), gamo (*Dama dama*), corzo (*Capreolus capreolus*), sarrío (*Rupicapra p. pyrenaica*), cabra montesa (*Capra pyrenaica hispanica*), cabra doméstica asilvestrada (*Capra hircus*) y muflón (*Ovis gmelini*). También se analizará la evolución de dicha distribución y las tendencias marcadas por las diferencias en los métodos empleados para su estudio.

MATERIAL Y MÉTODOS

Las bases sobre las que se asienta este estudio corresponden a tres publicaciones. La primera es el *Diccionario geográfico-estadístico-histórico* de Madoz (1845-1850), realizado a partir de encuestas postales enviadas a los ayuntamientos para conocer diversos aspectos de sus recursos. La segunda es una encuesta llevada a cabo en 1998 que recoge la distribución de los ungulados por términos municipales en Aragón (GORTÁZAR et alii, 2000) siguiendo el mismo modelo que el libro anterior. La tercera es el *Atlas de los mamíferos terrestres de España* (PALOMO y GISBERT, 2002), que refleja la distribución de los mamíferos de España con datos tomados entre 1980 y 2002 y representados en cuadrículas UTM de 10 x 10 km.

La encuesta se desarrolló a lo largo de 2006. Para registrar la presencia de las especies se estableció como unidad de muestreo la cuadrícula UTM de 10 x 10 km, de forma que pudiera ser comparable con trabajos previos de características similares (PALOMO y GISBERT, 2002; SAMPIETRO et alii, 2000). Aragón quedó dividido así en 555 cuadrículas con una superficie comparable y otras 23 cuadrículas incompletas derivadas de las zonas de compensación entre husos, en este caso entre el 30T y el 31T. Las encuestas se enviaron por correo postal a los cerca de 300 guardas (Agentes de Protección de la Naturaleza y vigilantes contratados) del Gobierno de Aragón. Los cuestionarios fueron remitidos a los técnicos provinciales de Caza y

Pesca, los cuales las dirigieron a los coordinadores de las Agencias Medioambientales, que las distribuyeron entre los guardas a su cargo.

La encuesta constó de una carta de presentación del proyecto en la que se solicitaba la colaboración de la guardería para determinar la presencia de las especies de ungulados silvestres presentes en el territorio. Junto con la carta se adjuntó una copia por cada especie del mapa comarcal con la malla UTM superpuesta. Se preguntaba por los avistamientos de individuos detectados en el periodo comprendido entre los años 2001 a 2005 en cada una de las cuadrículas UTM. Las encuestas fueron contestadas bien de forma individual por cada guarda, que recogía la información por especie relativa a las cuadrículas con lugares bajo su demarcación, o bien por el conjunto de todos los guardas de cada comarca. En ellas se registraban experiencias propias de cada guarda y avistamientos de las especies por personas que frecuentan esos territorios. En las cuadrículas compartidas por varias comarcas se optó por registrar la presencia de una especie aunque solo fuese indicada por guardas de una de las comarcas. Los cuestionarios rellenos incorrectamente fueron desechados y se solicitó su nueva contestación ajustándose a las indicaciones.

Aquellos datos registrados en los mapas resultantes que aportaban información inédita o dudosa de presencia de especies no indicadas en los mapas anteriores de la misma temática (PALOMO y GISBERT, 2002; GORTÁZAR et álii, 2000) fueron verificados individualmente mediante su reafirmación. Todo ello se completó con la información recopilada a partir de censos y monitoreos de sarrío y cabra montesa que se realizan periódicamente en Aragón desde 1998. Además, los resultados han sido contrastados con el conocimiento previo de las personas implicadas en este estudio sobre la presencia de ungulados gracias a trabajos anteriores en la comunidad autónoma (HERRERO et álii, 2002).

La información obtenida para cada especie en cada cuadrícula se volcó en una hoja de Excel con las cuadrículas numeradas en las filas y las especies potenciales en las columnas. Dicha hoja se relacionó posteriormente con las cuadrículas UTM correspondientes a la superficie de Aragón, previamente numeradas de la misma forma que la hoja de Excel, por medio de un Sistema de Información Geográfica (ArcView 3.2). Con la información cartográfica asociada a la base de datos obtenida en la encuesta, se genera-

ron los mapas temáticos, comparables con los incluidos en el *Atlas de los mamíferos terrestres de España* (PALOMO y GISBERT et álíi, 2002).

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio la conforma la comunidad autónoma de Aragón con 47 669 km², 1 269 027 habitantes en 2006 y 33 comarcas. El 70% de la población vive en la provincia de Zaragoza y aproximadamente la mitad del total en su capital, Zaragoza, existiendo grandes superficies con densidades inferiores a los 10 hab/km². Los municipios rurales presentan un perfil demográfico determinado por la emigración y el envejecimiento.

El territorio puede dividirse en tres grandes unidades de relieve: el valle medio del Ebro; el Pirineo y Prepirineo y el Sistema Ibérico (SAMPIETRO et álíi, 2000; RIVA, 1997b).

En el Pirineo las precipitaciones anuales se sitúan por debajo de los 800 mm solo en las zonas bajas de los grandes ríos. La temperatura media anual es inferior a 12 °C. El relieve impone un gran número de variaciones locales, entre las que destacan la alternancia entre solana y umbría, las inversiones térmicas y el encajonamiento de los vientos. La cubierta vegetal, mayoritariamente incluida en el dominio eurosiberiano, denota la transición hacia el mediterráneo. La sucesión altitudinal es clara: escasos pastizales alpinos, piso subalpino muy transformado en matorrales y pastos alpinizados, piso montano (hayedos, abetos, fresnos y extensos pinares de *Pinus sylvestris*) y piso submediterráneo (quejigo —*Quercus faginea*— y encina —*Quercus ilex*—, con gran deforestación para uso agrícola y ganadero). De carácter mediterráneo continental, el clima del Prepirineo es más suave y húmedo que el del centro del valle del Ebro. El encinar, coscojar y la sabina albar (*Juniperus thurifera*) conforman una vegetación potencial intensamente desplazada por los cultivos o degradada hacia matorrales de jara (*Cistus ladanifer*), retama (*Retama sphaerocarpa*) o romero (*Rosmarinus officinalis*).

El valle medio del Ebro se caracteriza por su marcada aridez, amplificada por la acción de vientos desecantes, fríos en invierno y frescos en verano. A este ambiente mediterráneo continental muy seco con tendencia a subdesértico se adapta la sabina albar y el coscojar; en las áreas endorre-

cas de la ribera del Ebro de ambientes hidrófilos la salinidad es determinante.

El Sistema Ibérico, montaña mediterránea con fuerte matiz continental, presenta precipitaciones menores que el Pirineo. Aquí se registran las temperaturas más bajas de toda la península. En cuanto a la vegetación, el quejigo ha desplazado a la encina en un ambiente cultivado o muy degradado hacia matorrales. La sabina albar responde al frío intenso, pero predomina la expansión del pinar de silvestres, rodenos (*Pinus pinaster*) y laricios (*Pinus nigra*). El somontano del Ibérico se encuentra mediatisado por la altitud, que le proporciona una pluviometría mayor. Las temperaturas son ligeramente más bajas y las precipitaciones inferiores frente al somontano pirenaico.

Excepto la cabra doméstica asilvestrada, el resto de ungulados silvestres son especies cinegéticas en Aragón. El territorio se halla acotado para la práctica cinegética en un 91%.

RESULTADOS

Se han recibido 242 encuestas con 1335 cuadrículas con presencia de ungulados silvestres.

Tabla I. Número de cuadrículas y porcentaje del territorio ocupado por las distintas especies de ungulados silvestres en Aragón (2001-2005, n = 1335).

<i>Especie</i>	<i>Cuadrículas ocupadas</i>	<i>Porcentaje del territorio (%)</i>
Jabalí	578	100,0
Ciervo	174	30,1
Gamo	20	3,5
Corzo	343	59,3
Sarrio	60	10,4
Cabra montesa	134	23,2
Cabra asilvestrada	21	3,6
Muflón	5	0,9
Total	1335	

El jabalí ocupa la totalidad del territorio (Fig. 1), seguido en importancia por el corzo, el ciervo, la cabra montesa y el sarrío. El resto de especies tienen una presencia escasa (cabra doméstica asilvestrada) o marginal (gamo y muflón).

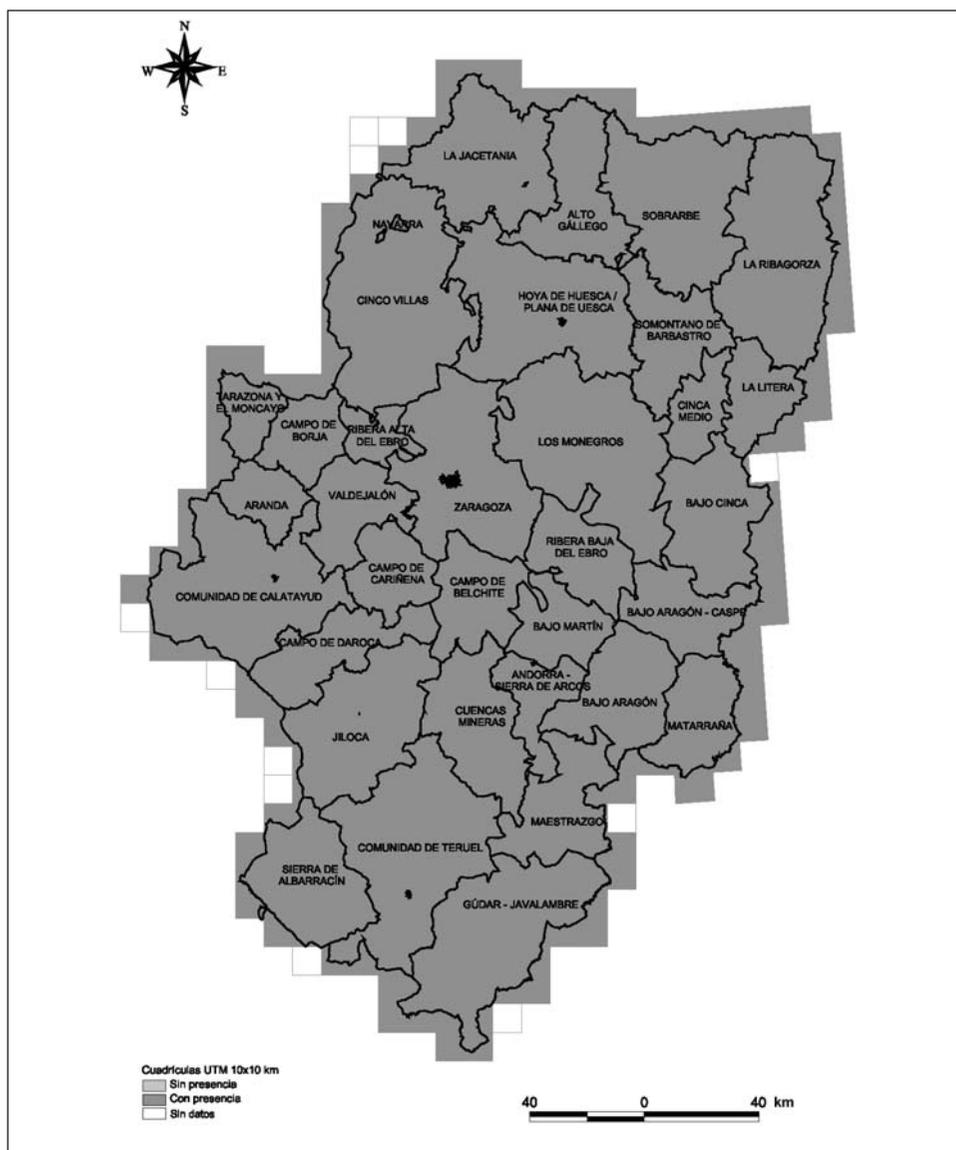


Fig. 1. Mapa de distribución del jabalí en Aragón a partir de encuestas (2001-2005).

El ciervo es el tercer ungulado en importancia de distribución, con un 30% de la superficie aragonesa ocupada (Fig. 2). Hay cinco áreas ocupadas por la especie: el Pirineo occidental, el central, el Sistema Ibérico turolense, el zaragozano y el Bajo Aragón.

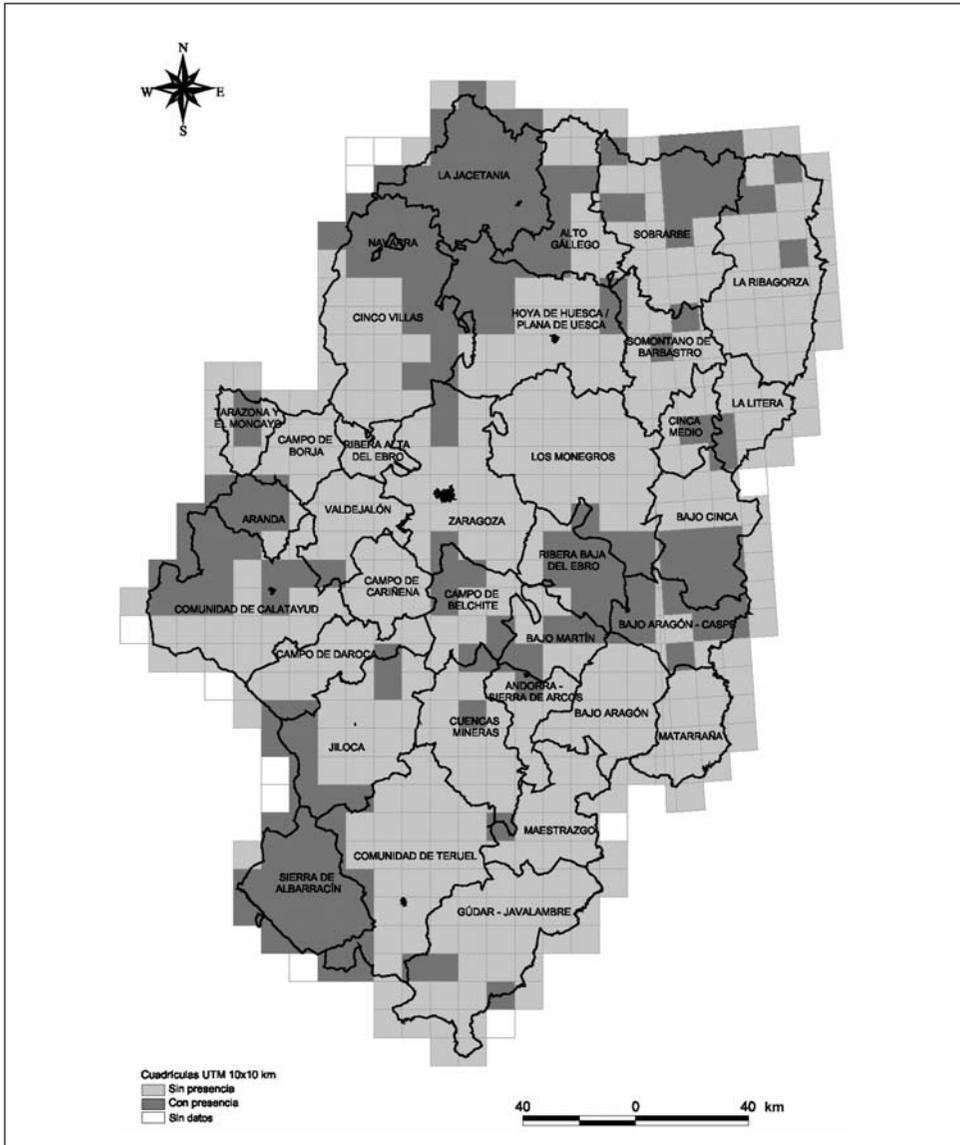


Fig. 2. Mapa de distribución del ciervo en Aragón a partir de encuestas (2001-2005).

El gamo presenta la distribución más restringida, circunscrita a los Montes Universales y a tres pequeños núcleos ligados a cotos privados o cercados: Bastarás y El Colladico, en la Plana de Huesca y el Jiloca, respectivamente, y en zonas aisladas no asociadas a los cotos, en Cinco Villas, Zaragoza, Valdejalón y en la sierra de Albarracín (Fig. 3).

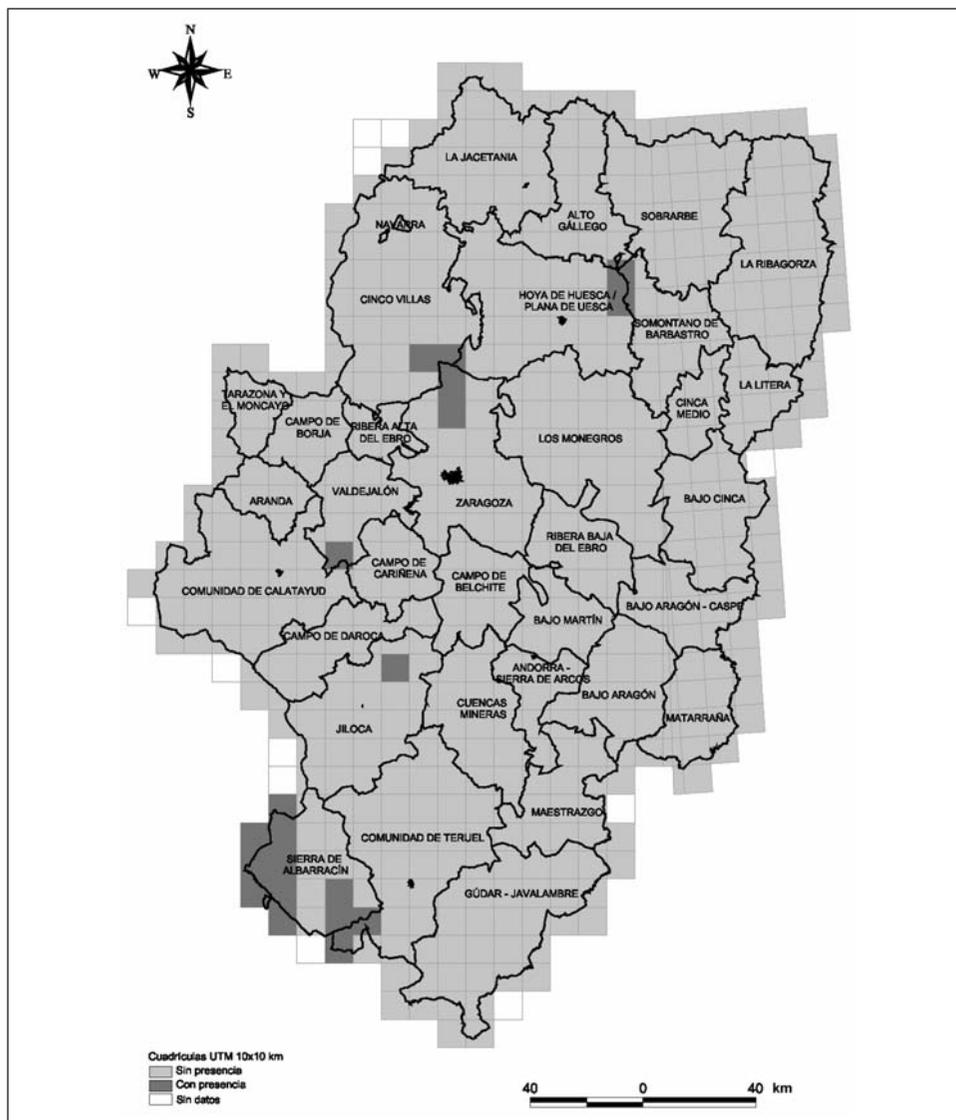


Fig. 3. Mapa de distribución del gamo en Aragón a partir de encuestas (2001-2005).

El sarrío se extiende de forma continua por todo el Pirineo, por las comarcas de Jacetania, Alto Gállego, Sobrarbe y Ribagorza (Fig. 5) con una cita puntual aislada en La Litera.

La cabra montesa se concentra en dos áreas diferenciadas. Una de ellas es el Pirineo, salpicando el territorio oscense con su presencia puntual en las comarcas de Jacetania, Alto Gállego, Sobrarbe, Plana de Huesca y Somontano de Barbastro. El otro sector es el Sistema Ibérico. Existe cabra montesa en



Fig. 5. Mapa de distribución del sarrío en Aragón a partir de encuestas (2001-2005).

toda la comarca del Maestrazgo, que representa el punto de origen de la expansión desde la Reserva de Caza de Beceite, Matarraña, Andorra y sierra de Arcos, en gran parte de Gúdar-Javalambre, Bajo Cinca, Bajo Aragón, Cuencas Mineras, Comunidad de Teruel, Campo de Belchite y Zaragoza. También se localiza en cuadrículas aisladas de las comarcas de Aranda, Calatayud, Campo de Cariñena, Daroca, Jiloca y sierra de Albarracín (Fig. 6).

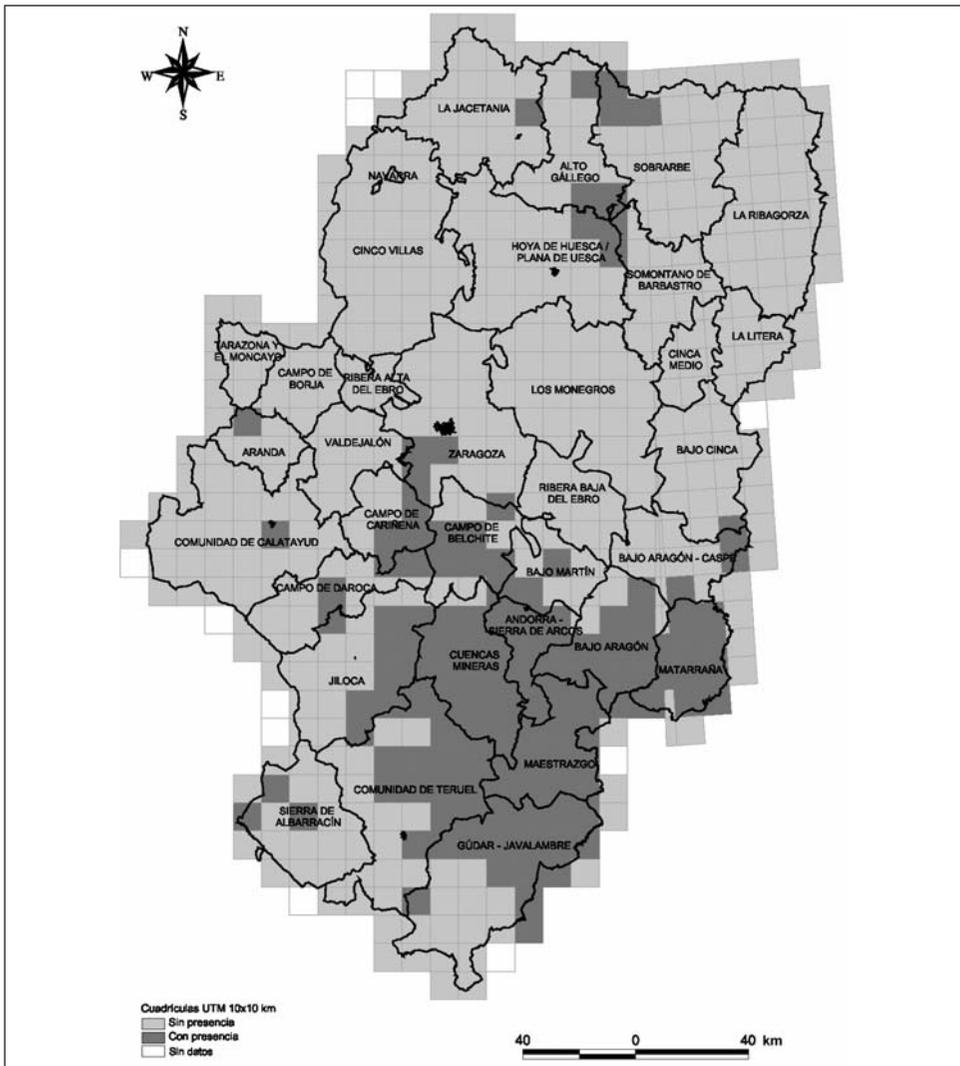


Fig. 6. Mapa de distribución de la cabra montesa en Aragón a partir de encuestas (2001-2005).

La distribución de la cabra doméstica asilvestrada aparece únicamente en seis comarcas pirenaicas: Alto Gállego, Hoya de Huesca, Cinco Villas, Somontano de Barbastro, Ribagorza y Sobrarbe (Fig. 7).

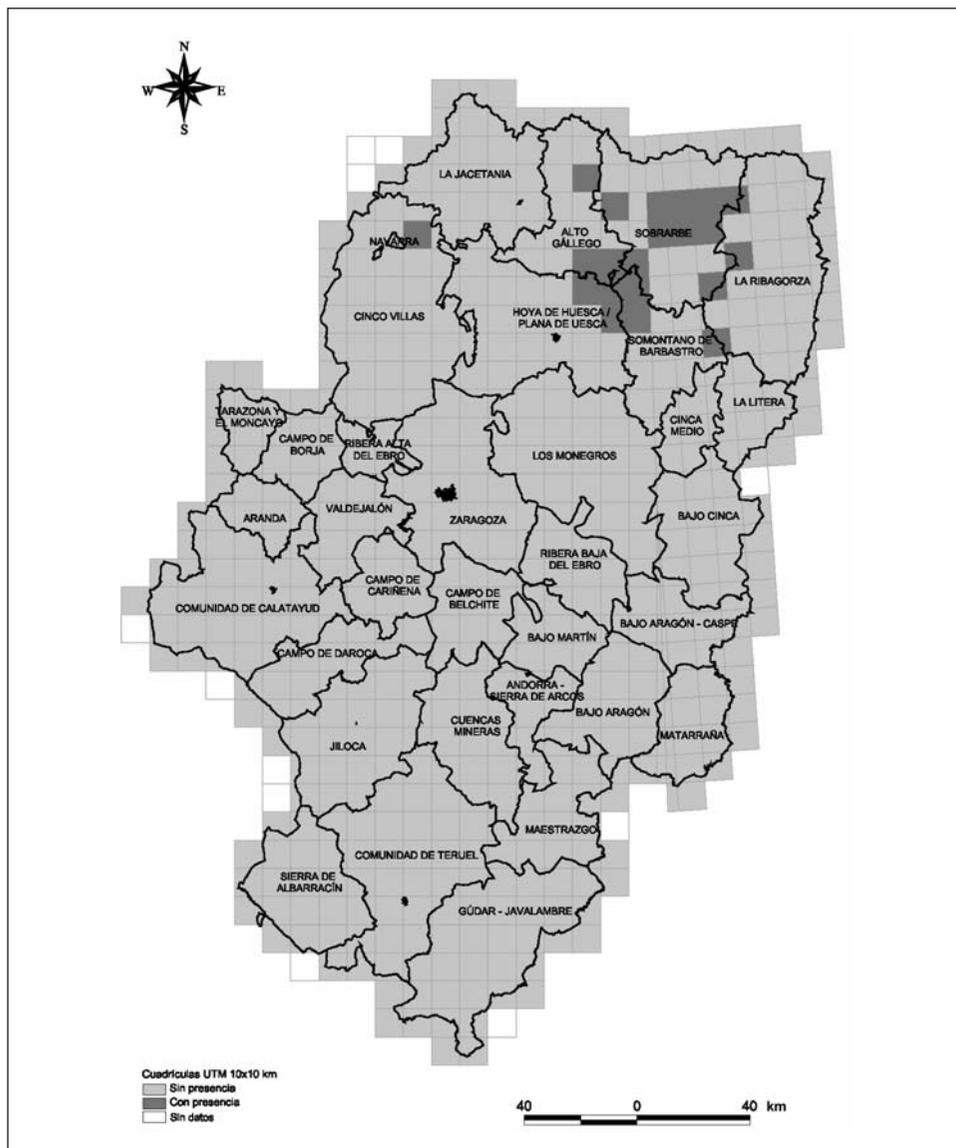


Fig. 7. Mapa de distribución de la cabra doméstica asilvestrada en Aragón a partir de encuestas (2001-2005).

El muflón es la especie de ungulado de menor distribución. Su presencia está restringida a cercados cinegéticos y sus alrededores. Se han recogido citas en las comarcas de la Plana de Huesca, Valdejalón, Calatayud y Jiloca (Fig. 8).

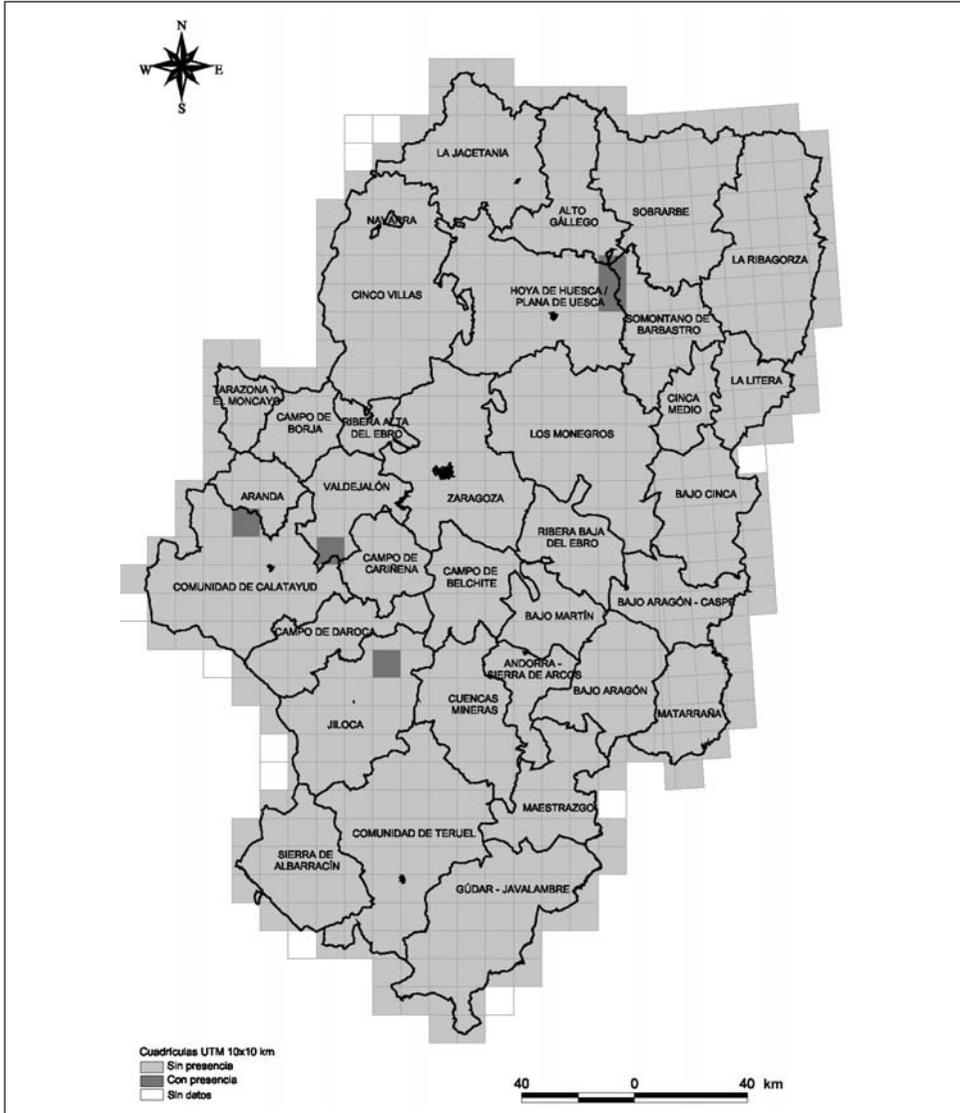


Fig. 8. Mapa de distribución del muflón en Aragón a partir de encuestas (2001-2005).

En cuanto a la riqueza de ungulados, de forma general se pueden diferenciar dos zonas con un mayor número de especies: el Pirineo, con una distribución de la riqueza más continua y homogénea, y el Sistema Ibérico, con una mayor variabilidad en el número de especies presentes en cada cuadrícula. La zona de menor riqueza está en el valle medio del Ebro (Fig. 9).

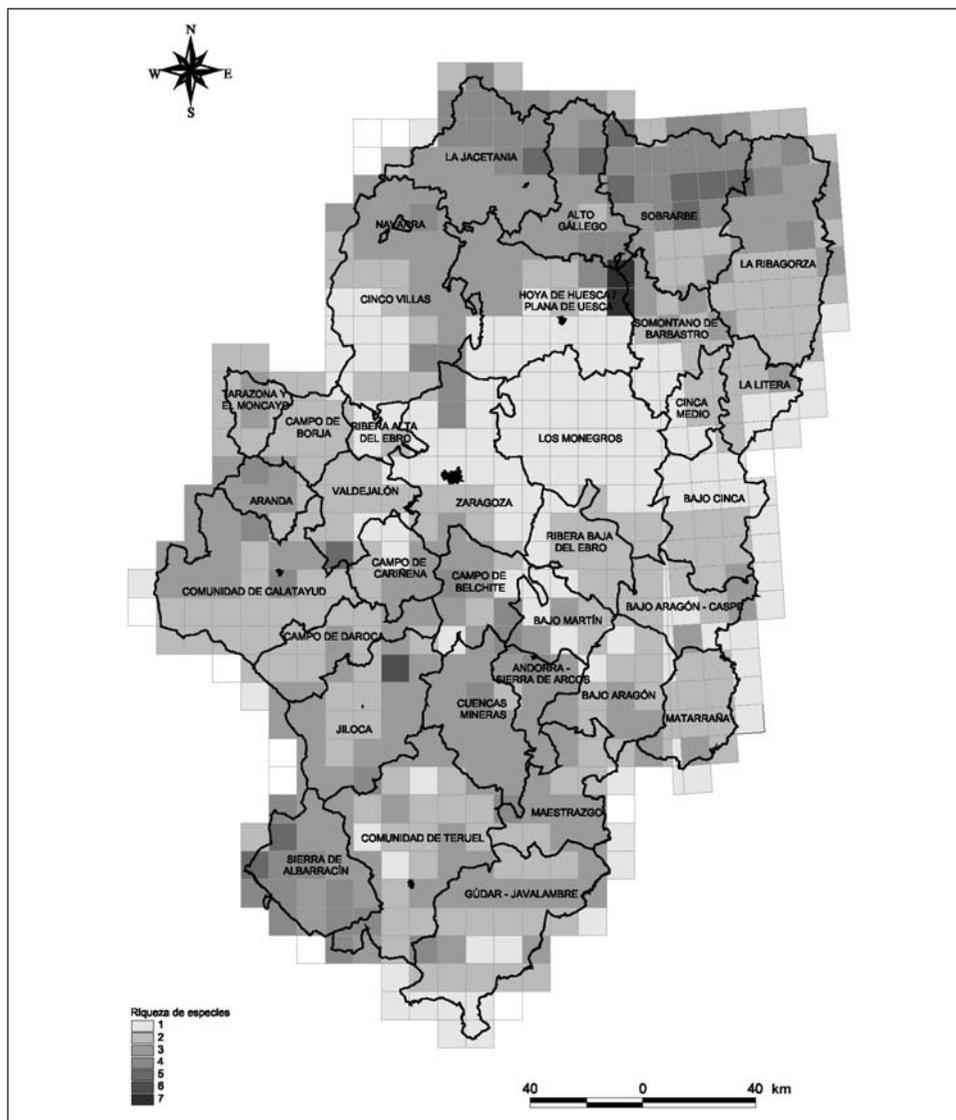


Fig. 9. Riqueza de especies de ungulados silvestres en Aragón a partir de encuestas (2001-2005).

Apenas un 0,5% de la superficie de Aragón está ocupada por más de cinco especies de ungulados silvestres simultáneamente. En el otro extremo, en un 26% de las cuadrículas, el único ungulado presente es el jabalí. Lo más usual es que en una cuadrícula coincidan entre dos y tres especies, en una proporción de un 33,6% y un 28,9%, respectivamente. La presencia de cuatro especies por cuadrícula se da en un 9,7% de los casos, y la coexistencia de cinco, en un 1,5%.

El solapamiento en la distribución de las especies viene reflejado en la tabla II. Los porcentajes de solapamiento están calculados con respecto a la distribución total en el territorio estudiado de la especie que encabeza cada fila. El mayor solapamiento se produce entre el jabalí y el resto de ungulados (100%). El sarrío solapa su distribución de forma relevante con el corzo (85%) y el ciervo (48%). El corzo coincide con el ciervo en el 41% de las cuadrículas y con la cabra montesa en el 25%. La cabra montesa se superpone mayoritariamente con el corzo (63%) y la doméstica con el ciervo (43%). No existe solapamiento entre la distribución del sarrío y el gamo o muflón. Los cercados mencionados anteriormente cuentan con la presencia de prácticamente todas las especies de ungulados silvestres presentes en Aragón, salvo el sarrío, por lo que en las cuadrículas donde se emplazan y en los alrededores se dan los porcentajes más altos de diversidad artificial de ungulados de todo Aragón, registrándose hasta siete especies diferentes.

Tabla II. Solapamiento porcentual en la distribución de los ungulados silvestres en Aragón.

	<i>Jabalí</i>	<i>Ciervo</i>	<i>Corzo</i>	<i>Gamo</i>	<i>Sarrío</i>	<i>Cabra montesa</i>	<i>Cabra doméstica asilvestrada</i>	<i>Muflón</i>
<i>Jabalí</i>	100	30	59	3	10	23	4	1
<i>Ciervo</i>	100	100	80	11	17	13	5	3
<i>Corzo</i>	100	41	100	6	15	25	6	1
<i>Gamo</i>	100	95	95	100	0	25	10	20
<i>Sarrío</i>	100	48	85	0	100	10	15	0
<i>Cabra montesa</i>	100	17	63	4	4	100	4	2
<i>Cabra doméstica asilvestrada</i>	100	43	100	10	43	24	100	10
<i>Muflón</i>	100	100	100	80	0	60	40	100

DISCUSIÓN

Tradicionalmente una de las primeras aproximaciones para conocer la distribución de mamíferos de mediano y gran tamaño es la realización de encuestas (MADOZ, 1848; LLANEZA et alii, 2005; CALABUIG et alii, 2005). Consiste en solicitar información a las personas cualificadas, que viven en el territorio de estudio (encuestas a expertos), sobre la existencia de todas las especies objeto del trabajo. Sin embargo, ha de resaltarse que la realización de encuestas a expertos como método elegido para conocer la distribución de ungulados silvestres tiene sus limitaciones y, en consecuencia, los resultados obtenidos deben ser interpretados con cierta cautela.

Varias son las ventajas del método empleado que valorar. Entre ellas destacan la oportunidad de realizar un trabajo extensivo, en un área amplia, donde se prospecta la totalidad del territorio y se involucra a mucho personal, además de tratarse de una encuesta a expertos. Esto ha permitido recopilar un gran volumen de datos en un espacio de tiempo relativamente corto. El método también permite el aprovechamiento de la información preexistente en cuanto a la comprobación de la tendencia distributiva de las especies y la comparación con trabajos previos y posteriores. Por el contrario, las mayores limitaciones de este método radican en la heterogeneidad en la calidad de la información recopilada, en las dificultades organizativas de la distribución y recepción de encuestas y en la necesidad de completar el muestreo con trabajo de campo para estudios más exhaustivos.

Únicamente escasas áreas de montaña del Pirineo y el Moncayo en el Sistema Ibérico poseían jabalíes a mediados del siglo XIX (MADOZ, 1848). Desde entonces los jabalíes han ocupado la totalidad de Aragón (HERRERO et alii, 2005) y es la especie cinegética de caza mayor más importante de la comunidad autónoma.

La situación actual del ciervo en la región se debe a su expansión natural desde otras poblaciones, a la supervivencia de una población autóctona en el Bajo Aragón (HERRERO et alii, 2005), pero principalmente a las reintroducciones —seltas de animales por acción humana en lugares donde en tiempos pasados estaba presente—, ocurridas durante los años sesenta del siglo XX a partir de ejemplares provenientes del sur de la Península Ibérica y de los Montes de Toledo. La presencia de la especie salpicaba todo el territorio a mediados del siglo XIX, pero no era continua (MADOZ, 1848). En

todos los casos, las sueltas han producido poblaciones viables. En concreto, las reintroducciones se efectuaron en cuatro puntos: en la actual Reserva de Caza de la Garcipollera, en los montes de Agüero, Santa Eulalia de Gállego y Luna, en los montes de Caspe, Fraga y Mequinenza, como refuerzo a una zona con ejemplares autóctonos y en la Reserva de Caza de los Montes Universales (MARCO y GORTÁZAR, 2002). La población de Sobrarbe es fundamentalmente de origen francés y esta, a su vez, resultado de reintroducciones con individuos de Centroeuropa, por lo que genéticamente son diferentes al resto de poblaciones aragonesas.

No había ejemplares de gamo en el siglo XIX (MADOZ, 1848). La especie fue introducida en el Sistema Ibérico en la década de los cincuenta del siglo pasado y en el Pirineo occidental en la década de los sesenta, pero las sueltas fracasaron. Actualmente, las densidades elevadas solamente se encuentran en los cercados. Aproximadamente en 1993 se produjo una fuga de gamos de una finca cercada en La Paül (Gurrea de Gallego) cuya expansión a los alrededores de Sierra de Luna y Las Pedrosas queda confirmada por la encuesta. Los Montes Universales es el otro enclave con presencia de gamos (véase la figura 3). Aunque no está reflejado en el mapa resultante de este trabajo, se han obtenido datos de avistamientos de ejemplares aislados de gamo, ciervo y muflón que podrían haber escapado de la finca privada “El Cortado” en la comarca de Valdejalón. Sin embargo, no se tiene constancia de reproducción natural de estos ungulados fuera de la explotación privada.

En menos de un siglo, el corzo ha modificado drásticamente su distribución y abundancia en gran parte de la Península Ibérica y ha visto incrementada su presencia. Estaba presente en el siglo XIX de forma casi continua en el Pirineo, en Tarazona (Zaragoza) y Bronchales (Teruel) (MADOZ, 1845). Su expansión se ha visto favorecida por la recuperación de la especie en las áreas vecinas (Francia, Navarra, Castilla y León y Cataluña) por lo que las poblaciones autóctonas y las provenientes de las regiones limítrofes se han fusionado. En 1998, el corzo dirigía su expansión hacia el sur y el este. De la misma fecha existen datos de su presencia en La Muela y Fuentes de Ebro (Zaragoza). La encuesta corrobora la expansión en la distribución, la de mayor envergadura en el periodo de tiempo estudiado. En los últimos cinco años se ha consolidado una mancha continua de distribución en el oeste de la población del Sistema Ibérico, la población del Piri-

neo ha ganado terreno hacia el sur y ha ocupado zonas del centro y este de la mitad sur de Aragón.

En el siglo XIX el sarrío ocupaba algunas zonas del Pirineo, pero su distribución no está clara debido a la multiplicidad de nombres locales que recibe, a su escasez real y a la confusión terminológica con el bucardo (MADOZ, 1848). En 1998 el sarrío ocupaba ya casi la totalidad de su área potencial, con algunos macizos aún por colonizar de forma estable pero con presencia esporádica, como es el caso de Oturía (GORTÁZAR et alii, 2000) y la sierra de Guara (HERRERO et alii, 2005). La distribución del sarrío descrita por GARCÍA-GONZÁLEZ y HERRERO (2002) coincide prácticamente con la aportada por la encuesta, ligeramente más extensa, correspondiéndose con el área de distribución potencial de la especie.

En este mismo siglo XIX la presencia de cabra montesa en Aragón era reducida: el bucardo (*Capra pyrenaica pyrenaica*) ocupaba parte del Pirineo (MADOZ, 1848), pero la subespecie se extinguió en 2000 (GARCÍA-GONZÁLEZ y HERRERO, 2002) y en Beceite se concentraba la subespecie *Capra pyrenaica hispanica*, núcleo a partir del cual se ha ido extendiendo por el Sistema Ibérico (GORTÁZAR et alii, 2000). La presencia actual en el Pirineo es fruto de diversos escapes de vallados (Reserva de Caza de la Garcipollera en Jacetania; Bastarás en la Hoya de Huesca) y de un ejemplar liberado en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido durante el periodo de vigencia del Plan de Recuperación del bucardo. Todos los ejemplares pertenecen a la subespecie *C. p. hispanica*.

La presencia de cabra doméstica en el medio natural está ligada al abandono, voluntario o no, de ejemplares y su posterior asilvestramiento y reproducción (HERRERO et alii, 2005). En 1998 había cabras asilvestradas en la sierra de Leire (Pirineo occidental); en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (Pirineo central), en el Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara (Prepirineo) y en otros núcleos. En esta última zona vivían en el mismo año al menos 800 ejemplares en unos 400 km² (HERRERO et alii, 2005). La información aportada por las encuestas realizadas para el periodo 2001-2005 indica la expansión de las poblaciones preexistentes hacia terrenos aledaños a la distribución original. Por otro lado, aunque en el último trabajo no se ha confirmado la supervivencia de la población del Pirineo occidental determinada en la encuesta de 1998, se cree que aún persiste

en este lugar. En general, creemos que la abundancia de la cabra asilvestrada en Aragón es mayor de la obtenida (sierra de Leire, Jacetania) tal y como aparecía en la encuesta de 1998 (GORTÁZAR et álii, 2000). Además, se produce una presencia de cabras más o menos asilvestradas o de control difuso por parte de sus dueños, algunas de las cuales están presentes todo el año en el monte y no es fácil conocer su grado de asilvestramiento, por lo que su existencia pudiera haber sido subestimada.

La distribución del muflón en España está ligada a su fuerte demanda cinegética. Las primeras introducciones se efectuaron a mediados del siglo pasado en Cuenca y en Cazorla, por lo que no había individuos en Aragón anteriores a esa fecha. A finales de la década de los noventa, las poblaciones actuales de muflón estaban cercadas, pertenecían a cotos privados o provenían de escapes en el Prepirineo, Sistema Ibérico septentrional o en la Reserva de Caza de la Serranía de Cuenca. Fuera de los cercados las densidades eran muy bajas (GORTÁZAR et álii, 2000). En el mapa elaborado por RODRÍGUEZ-LUENGO et álii (2002), se podía determinar la presencia difusa de la especie alóctona repartida más o menos según se detallaba en el año 1998, en las comarcas de Hoya de Huesca, Somontano de Barbastro, Aranda, Valdejalón, Jiloca, Matarraña y sierra de Albarracín. El mapa que recoge las observaciones de la presencia reciente de muflón en la comunidad reduce el número a cinco cuadrículas. La supervivencia del muflón en la actualidad se restringe a los cotos privados de caza.

Las áreas con mayor riqueza de especies se corresponden con los relieves más montañosos y escasamente poblados del Pirineo y del Sistema Ibérico. Allí se dan valores de hasta cinco especies en una misma cuadrícula. Los menores porcentajes de riqueza se dan en el valle medio del Ebro.

La comparación de los mapas precedentes de distribución de los ungulados silvestres en Aragón (MADOZ, 1848; GORTÁZAR et álii, 2000) y los mapas elaborados a partir de los resultados de este trabajo han permitido confirmar la expansión de la mayoría de las poblaciones, a pesar de la diferencia en el método empleado. Las discrepancias existentes para algunas especies entre los resultados obtenidos en este trabajo y los descritos en el *Atlas de los mamíferos terrestres de España* (PALOMO y GISBERT, 2002), ponen de manifiesto la heterogeneidad de la calidad de la información recogida en la obra de la SECEM, que obliga a tomarla con mucha precaución

pese a ser, de momento, la información más completa sobre la distribución de los mamíferos en España.

Recomendamos repetir esta encuesta cada cinco años con el fin de actualizar la distribución de las especies, algunas de ellas en pleno proceso de expansión.

AGRADECIMIENTO

La realización de este trabajo no habría sido posible sin la colaboración de los guardas y Agentes para la Protección de la Naturaleza en Aragón. A todos ellos, nuestro sincero agradecimiento. El proyecto ha sido financiado por la Sección de Aprovechamiento Cinegético y Piscícola del Gobierno de Aragón.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLANCO, J. C.; ALCÁNTARA, M.; IBÁÑEZ, C.; AGUILAR, A.; GRAU, E., y MORENO, S. (1998). *Mamíferos de España, II. Guía de campo*. Planeta. Barcelona. 457 pp.
- BRAZA, F. (2002). *Dama dama* Linnaeus, 1758. En PALOMO, L. J., y GISBERT, J. (eds). *Atlas de los mamíferos terrestres de España*: 314-317. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-SECEM-SECEMU. Madrid.
- CALABUIG, G.; SERRANO, A. L., y TÍSCAR, M. (2005). Nuevas citas de Arrui *Ammotragus lervia* (Pallas, 1777) en el Parque Natural de las sierras de Cazorla, Segura y Las Villas: obtención mediante encuestas. *Galemys*, 17: 3-14.
- CARRANZA, J. (2002). *Cervus elaphus* Linnaeus, 175. En PALOMO, L. J., y GISBERT, J. (eds.). *Atlas de los mamíferos terrestres de España*: 310-313. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-SECEM-SECEMU. Madrid.
- GARCÍA-GONZÁLEZ, R., y HERRERO, J. (2002). *Rupicapra pyrenaica* Bonaparte, 1845. En PALOMO, L. J., y GISBERT, J. (eds.). *Atlas de los mamíferos terrestres de España*: 322-325. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-SECEM-SECEMU. Madrid.
- GINÉS, E., y JORDÁN, G. (2002). *El corzo* *Capreolus capreolus*. Cuadernos de caza y pesca de Aragón. Ebronatura. Prames.
- GORTÁZAR C.; HERRERO, J.; VILLAFUERTE, R., y MARCO, J. (2000). Historical examination of the status of large mammals in Aragón, Spain. *Mammalia*, 64: 411-422.
- GRANADOS, J. E.; SORIGUER, R. C., y PÉREZ, J. M^a (2002). *Capra pyrenaica* Schinz, 1838. En PALOMO, L. J., y GISBERT, J. (eds.). *Atlas de los mamíferos terrestres de España*: 326-329. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-SECEM-SECEMU. Madrid.
- HERRERO, J. (2002). *Adaptación funcional del jabalí* *Sus scrofa* L. *a un ecosistema forestal y a un sistema agrario intensivo en Aragón*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Serie Investigación. 159 pp.

- HERRERO, J.; ESCUDERO, E.; FERNÁNDEZ DE LUCO, D., y GARCÍA-GONZÁLEZ, R. (2002). *El sarrio pirenaico* Rupicapra p. pyrenaica: *biología, patología y gestión*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón y FEDENCA. 263 pp.
- HERRERO, J.; GORTÁZAR, C.; MARCO, J., y VILLAFUERTE, R. (2005). Evolución histórica de la comunidad de grandes mamíferos en Aragón. *Naturaleza Aragonesa*, 15: 29-38.
- LLANEZA, L., y BLANCO, J. C. (2005). Situación del lobo (*Canis lupus L.*) en Castilla y León en 2001. Evolución de sus poblaciones, *Galemys*, 17: 15-28.
- LLANEZA, L.; PALACIOS, V., y UZAL, A. (2005). Distribución y aspectos poblacionales del lobo ibérico (*Canis lupus signatus*) en las provincias de Pontevedra y A Coruña (Galicia). *Galemys*, 17: 61-80.
- MADOZ, P. (1848). *Diccionario geográfico-estadístico de España y sus posesiones de ultramar*. Madrid.
- MADOZ, P. (1845-1850). *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar*. La Ilustración, Madrid. Edición facsímil a cargo de SÁNCHEZ ZURRO, D. (ed.) (1985). *Diccionario geográfico-estadístico-histórico: Aragón*. 3 vols. Ámbito Ediciones. Valladolid. 307 pp.
- MARCO, J., y GORTÁZAR, C. (2002). *El ciervo, biología y gestión poblacional*. Ebronatura. Prames.
- PALOMO, L. J., y GISBERT, J. (2002). *Atlas de los mamíferos terrestres de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-SECEM-SECEMU. Madrid. 564 pp.
- RIVA, J. de la (1997a). *Los montes de la Jacetania. Caracterización física y explotación forestal*. Publicaciones del Consejo de la Protección de la Naturaleza en Aragón. Serie Investigación, 10. 358 pp.
- RIVA, J. de la (1997b). *Atlas geográfico de Aragón en Internet*. Disponible en <http://155.210.60.15/geoatlas/atlas.htm> [consulta: julio de 2006].
- RODRÍGUEZ-LUENGO, J. L.; FANDOS, P., y SORIGUER R. C. (2002). *Ovis gmelini* Pallas, 1811. En PALOMO, L. J., y GISBERT, J. (eds). *Atlas de los mamíferos terrestres de España*: 334-337. Dirección General de Conservación de la Naturaleza – SECEM-SECEMU. Madrid.
- ROSELL, C., y HERRERO, J., 2002. *Sus scrofa* Linnaeus, 1758. En PALOMO, L. J., y GISBERT, J. (eds.). *Atlas de los mamíferos terrestres de España*: 306-309. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-SECEM-SECEMU. Madrid.
- SAMPIETRO LATORRE, F. J.; PELAYO ZUECO, E.; HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, F.; CABRERA MOLLET, M., y GUIRAL PELEGRÍN, J. (2000). Descripción fisiográfica de la Comunidad Autónoma de Aragón. En *Aves de Aragón. Atlas de especies nidificantes*. 2ª edición. Diputación General de Aragón. 566 pp.
- SAN JOSÉ, C. (2002). *Capreolus capreolus*, Linnaeus, 1758. En PALOMO, L. J., y GISBERT, J. (eds.). *Atlas de los mamíferos terrestres de España*: 318-321. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-SECEM-SECEMU. Madrid.

ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS ÁREAS FAVORABLES AL DESENCADENAMIENTO DE ALUDES EN EL CIRCO DE PIEDRAFITA (HUESCA)

María PALOMO SEGOVIA*

RESUMEN.— El desencadenamiento de aludes en zonas de montaña supone un peligro considerable, especialmente cuando se trata de áreas en las que se desarrollan actividades antrópicas. Conocer los factores y mecanismos que intervienen en su génesis es fundamental de cara a una eficiente planificación y gestión del territorio.

En este trabajo se presenta una cartografía de áreas susceptibles al desencadenamiento de aludes de la cabecera del río Aguas Limpias (situado en el alto valle de Tena, Pirineo español). Para elaborar esta cartografía se realizó un detallado análisis de los parámetros relacionados con el terreno integrándose en un Sistema de Información Geográfica. La aplicación de un análisis multicriterio nos ha permitido delimitar las zonas más favorables a este fenómeno.

ABSTRACT.— Avalanches are a serious risk in mountain areas, especially in avalanche prone locations, where people or objects can be affected by them. Having knowledge of the mechanisms and factors playing a part in their unleashing is fundamental towards an efficient land planning and management.

This work presents an avalanche triggering prone areas cartography in the headwaters of Aguas Limpias River (Upper Tena Valley, Spanish Pyrenees).

* Agencia Estatal de Meteorología (AEMet). C/ Leonardo Prieto Castro, 8. E-28040 MADRID.
mpalomo@inm.es

In order to prepare this map, an extensive analysis of the terrain-related parameters was made and integrated later in a Geographic Information System. We have delimited avalanche prone areas by using multicriteria analysis.

KEY WORDS. — Avalanches, risk, danger, mountain areas, Spanish Pyrenees.

INTRODUCCIÓN

Las zonas de montaña presentan, por sus características de relieve y topografía, una exposición especial a ciertos riesgos naturales. La ordenación y gestión del territorio, la construcción de nuevas infraestructuras y la planificación de actividades en áreas de montaña exigen del conocimiento de los factores que generan estos riesgos así como de la utilización de una cartografía en la que aparezcan las zonas expuestas a ellos.

Tradicionalmente, el uso más común de las zonas de montaña era el ganadero, sin embargo, desde hace varias décadas estas zonas han pasado a tener otros usos entre los que destacan el aprovechamiento hidroeléctrico a principios del siglo XX y, a partir de los años cincuenta, un uso mayoritariamente turístico. Este cambio de uso de suelo ha originado la construcción de distintos tipos de infraestructuras en estos espacios como estacionamientos de esquí, refugios de montaña, hoteles, urbanizaciones y carreteras.

Entre los peligros característicos de las zonas de montaña se puede destacar el desencadenamiento de aludes, que ha pasado de ser un fenómeno inevitable o una catástrofe natural, a constituir un riesgo natural que puede llegar a ocasionar numerosas pérdidas humanas y un fuerte impacto económico.

Nuestro país no presenta, en general, un riesgo elevado de desencadenamiento de aludes. La mayor parte de ellos se producen en la cordillera pirenaica, donde el número de víctimas por este fenómeno se ha ido incrementando en las últimas décadas.

Todos estos hechos dan lugar a que el estudio y análisis de la dinámica de aludes, tanto en su vertiente espacial como temporal, haya ido cobrando cada vez mayor interés. En los últimos años, se han elaborado distintos estudios sobre la incidencia de este proceso en áreas concretas y sobre los aspectos teóricos de su dinámica.

En este trabajo nos ocuparemos de delimitar, en un área concreta del Pirineo oscense, las zonas que son favorables al desencadenamiento de aludes. La zona elegida es el circo de Piedrafita, situado en el Pirineo central aragonés.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El circo de Piedrafita se localiza en el Pirineo Axil, en el Pirineo central aragonés, al norte de la provincia de Huesca (Fig. 1).

La zona se caracteriza por la existencia de enérgicos relieves, en los que destacan picos como el Arriel (2824 m), Frondiellas (3071 m), Balaitús (3146 m), Palas (2970 m), Cambalés (2965 m), Gran Facha (3005 m), Punta Zarra (2947 m), Piedrafita (2969 m), Pondiellos (2893 m), Tebarray (2916 m) y Musales (2654 m).

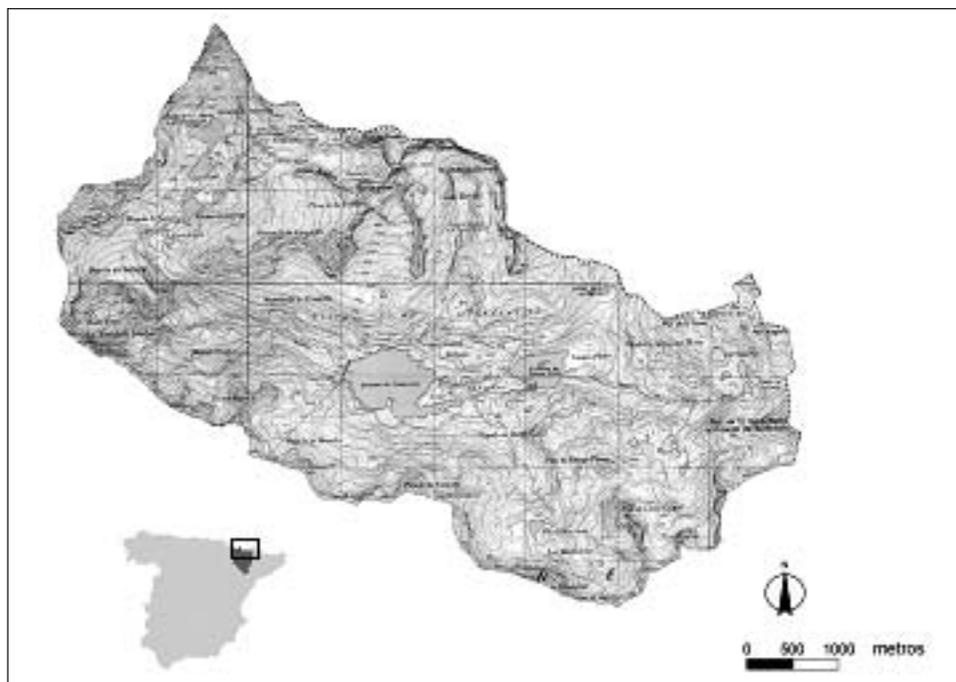


Fig. 1. Localización espacial del circo de Piedrafita.

La mayor parte de la zona de estudio está constituida por el batolito granítico de Panticosa-Cauterets, aunque también existen pequeñas áreas de areniscas y calizas en la cima del Balaitús y, en el extremo sur, aparecen otros materiales paleozoicos metamórficos correspondientes a la orla metamórfica creada en contacto con el batolito (CHUECA et alii, 2000).

La existencia de un sistema de fallas en el que predominan las direcciones norte-sur y este-oeste ha condicionado la instalación de la red fluvial y la aparición de escarpes y de algunos circos glaciares. De esta forma, las distintas fases orogénicas y los procesos asociados a los modelados glacial, periglacial y fluvial han dado como resultado el relieve existente en la actualidad con la pervivencia de ejemplos de morfologías glaciares (valles glaciares, crestas afiladas, hörns, rocas aborregadas, bloques erráticos, estrías y alvéolos en los granitos, etcétera) y periglaciares (canchales o canales mixtos nivofluviales).

Los canales de aludes ocupan extensiones importantes en el circo de Piedrafita y su comportamiento tiene en muchos casos un carácter fluvio-



Fig. 2. Crestas de los picos de Frondiellas.

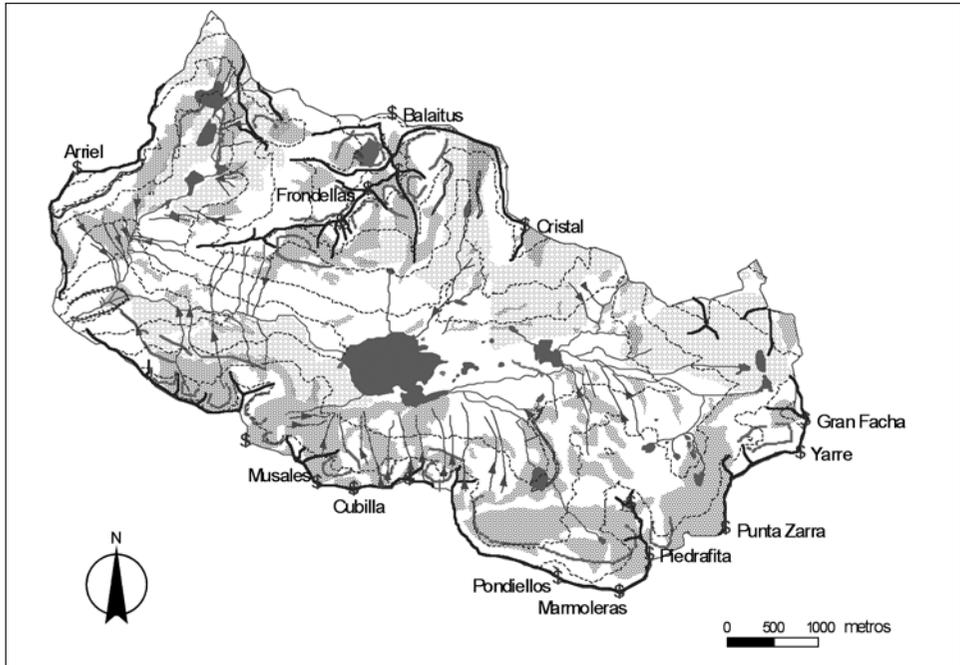


Fig. 3. Mapa geomorfológico del circo de Piedrafita.

nival. Al igual que la red fluvial, la presencia de estos canales está condicionada por la estructura (zonas de fallas o con estratificación favorable) y por la presencia de pendientes favorables (entre 28 y 45°). Las zonas donde estas morfologías aparecen más ampliamente representadas son el Paso del Onso, el Llano Cheto y toda la mitad sur de la zona de estudio.

En la actualidad, las manifestaciones glaciares se encuentran confinadas en áreas de elevada altitud, importante alimentación nival y escasa insolación. En la zona de estudio estas condiciones solo se presentan al pie de los macizos de Balaitús, en el circo de Frondiellas donde todavía persisten el helero de Frondiellas Norte, a 2700 m de altitud, y los heleros-neveros de la Brecha Latour y Balaitús (CHUECA et alii, 2004) (Figs. 2 y 3).

El clima de la zona de estudio puede calificarse como de montaña, húmedo con influencia atlántica aunque la configuración del relieve en el circo da lugar a que esta área constituya una zona de transición entre el clima oceánico y el mediterráneo de matiz continental.

Las temperaturas son las típicas de un clima de montaña con bajas temperaturas medias, mínimas bajas, máximas moderadas y amplitud térmica anual considerable. La altitud de la isoterma de 0 °C, factor que condiciona de forma importante los fenómenos de innivación y permanencia de la nieve, presenta una variación anual de entre 1611 m en el mes de febrero y 2998 m en el mes de octubre (RIVA, 2000).

Las precipitaciones y su distribución están condicionadas por la configuración del relieve. La presencia del macizo granítico y su orla metamórfica da lugar a relieves fuertes y abruptos que dificultan la penetración de las masas de aires húmedos del noroeste, dando lugar a una disminución de las precipitaciones con respecto a zonas menos protegidas.

El límite lluvia-nieve varía a lo largo del año; las máximas nevadas se presentan entre diciembre y marzo. El manto de nieve cubre el suelo de forma continua todas las temporadas entre los meses de diciembre y mayo. El

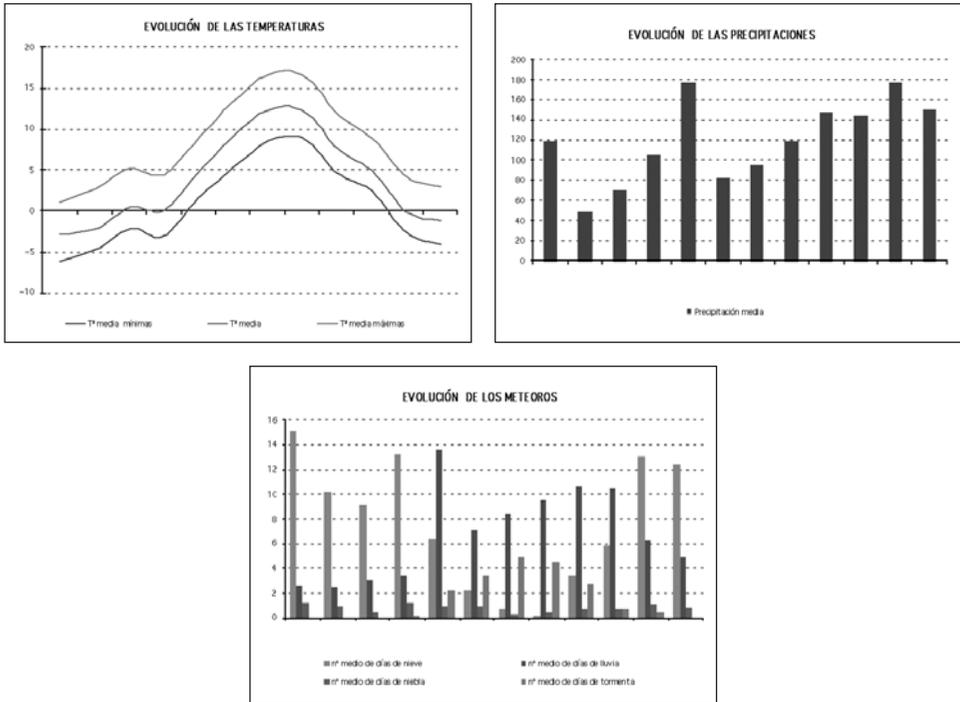


Fig. 4. Evolución a lo largo del año de distintas variables meteorológicas en el área de estudio. Datos de la estación nivometeorológica del refugio de Respomuso. Fuente: AEMet.

espesor de este manto de nieve presenta una gran variabilidad tanto inter como intraanual.

En general, el manto no es superior a los 2 m aunque la información procedente de los sondeos nivológicos realizados en la estación nivometeorológica de Resposuso (Figs. 4 y 5) permite asegurar que, puntualmente, este espesor puede alcanzar los 4 m. Si tenemos en cuenta el hecho de que la estación de observación se encuentra situada en el fondo del circo de Piedrafita, podemos suponer que el espesor de este manto será muy superior en las cotas más elevadas.

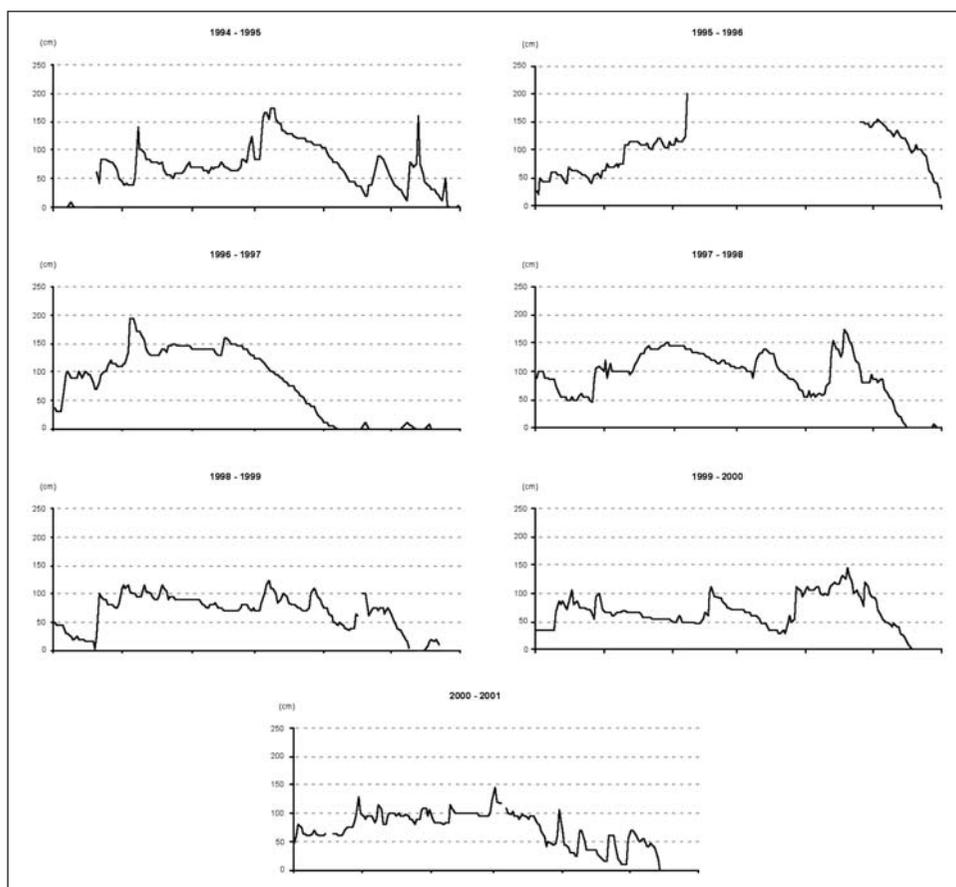


Fig. 5. Evolución del espesor del manto de nieve a lo largo de las campañas 1994-1995 a 2000-2001. Datos de la estación nivometeorológica del refugio de Resposuso.

Fuente: AEMet.

Las características climatológicas de la zona, con grandes oscilaciones de temperatura, ventiscas y alternancia de momentos secos con otros de precipitaciones importantes, no permiten definir en la evolución del manto periodos únicos de formación y consolidación.

El espesor del manto no solo es sensible a las precipitaciones, sino también a los vientos. Así, asociadas a periodos de días con vientos fuertes, el manto de nieve registra importantes modificaciones y oscilaciones en su espesor.

Entre los meses de abril y mayo, cuando las temperaturas comienzan a elevarse, la nieve entra en su periodo de fusión. En este momento el espesor del manto disminuye rápidamente para terminar desapareciendo.

La cubierta vegetal que aparece en la zona de estudio está condicionada por factores tan diversos como la altitud, las fuertes pendientes y la orientación de las laderas, el sustrato litológico o la acción humana. La combinación de todos estos factores da como resultado la existencia de una vegetación de gran variedad, apareciendo especies rupícolas en las zonas rocosas de mayor altitud, pastizales, cervunales y pinares de pino negro en las zonas de altitudes sucesivamente más bajas así como vegetación hidrófila ligada a los ibones, a los arroyos y a los medios higroturbosos con presencia de suelos ácidos en el fondo del circo (Fig. 6).

La acción humana también ha influido en la cubierta vegetal y sus características. La utilización de esta zona como pastos estivales de forma tradicional genera cambios tanto en el grado de cobertura vegetal como en su porte y su composición florística.

Los usos más significativos que han tenido lugar en la zona han estado relacionados con la ganadería. De forma tradicional, el ganado que el resto del año se mantenía en las zonas del valle con menor altitud se desplazaba, durante la temporada estival, hacia áreas más altas donde los pastos eran aptos para ser utilizados como alimento.

Posteriormente, desde principios del siglo xx, los embalses situados en la cabecera del Gállego fueron represados y modificados con el fin de obtener un aprovechamiento hidroeléctrico. El aumento de la demanda energética generado por la instalación de distintas industrias en poblaciones como Sabiñánigo, tuvo como consecuencia la conversión de los distintos lagos



Fig. 6. Cubierta vegetal característica de una gran parte de la zona de estudio.

situados en el curso alto del río en presas destinadas a la producción de energía eléctrica. En el circo de Piedrafita, el embalse de Resposuso fue uno de los que sufrió esta transformación, construyéndose una presa en el extremo occidental del lago. La creación de estos embalses ha modificado el régimen del río y las características geomorfológicas del fondo del valle, por ejemplo, cubriendo algunos de los conos mixtos nivofluviales que existían.

Desde mediados del siglo XX el desarrollo de las actividades turísticas ha tenido una importancia primordial en el valle del Alto Gállego. El desarrollo de los deportes de invierno, en particular el esquí alpino, ha hecho que importantes áreas hayan sufrido una transformación significativa. Otras actividades deportivas como el montañismo, la escalada o el esquí de travesía también se han generalizado en la zona, que presenta unas condiciones muy favorables para su desarrollo. En el caso de la zona de estudio, la generalización de deportes como el senderismo, dio lugar a la construcción de un refugio de montaña en la zona central del circo. Este refugio se

encuentra integrado en la red de Refugios de Montaña de la Federación Aragonesa de Montaña desde 1993.

Todas estas actividades han dado lugar a que la presión humana haya aumentado en la zona de forma significativa, aunque esta ocupación es mucho menor que en otros valles vecinos en los que existe una estación de esquí.

El circo de Piedrafita es una de las zonas del Pirineo aragonés que más frecuentemente experimenta el desencadenamiento de aludes. Las características físicas de esta área, de elevadas altitudes y fuertes pendientes, hacen que sea una zona especialmente propicia al fenómeno. De hecho, existe constancia en los últimos años de la ocurrencia de distintos accidentes que han causado daños tanto personales como materiales de diversa consideración.

Datos

La delimitación de zonas favorables al desencadenamiento de aludes en un área determinada exige tener un conocimiento lo más pormenorizado posible de sus características fisiográficas. Para la elaboración de este trabajo la información de la que se ha partido es variada.

- La altimetría digital a escala 1: 25 000 suministrada por el Instituto Geográfico Nacional correspondiente a la Hoja 145 (Sallent de Gállego) se ha utilizado para la elaboración de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que ha servido como base para la realización de otros productos cartográficos.
- La fotointerpretación se ha hecho a partir de la fotografía aérea del vuelo del Instituto Geográfico Nacional a escala 1: 25 000 de 1981.
- La información directa facilitada por los guardas del refugio ha servido como ayuda a la hora de delimitar zonas de sobreacumulación, canales habituales de aludes y direcciones dominantes de las ventiscas.
- El tratamiento de toda esta información y la elaboración de la cartografía se ha hecho con el Sistema de Información Geográfica ArcView 3.2. En la elaboración de esta cartografía nos hemos basado en la establecida por el CEMAGREF, aunque teniendo en cuenta que no tenemos como objetivo delimitar toda el área cubierta por los aludes, sino solamente aquellas zonas donde estos pueden desencadenarse.

La mayor parte de los autores consideran las siguientes variables en relación con la delimitación de zonas probables de aludes:

- *Altitud*. Nos permite separar, a partir de una cota, zonas donde se producen los aludes de aquellas otras donde no tienen lugar debido a la ausencia de un manto de nieve más o menos continuo. Esta altitud crítica viene dada por la altitud media de la isoterma de 0 °C.
- *Pendiente*. Los aludes se originan en zonas con pendientes que oscilan entre los 28° y los 45°. Por debajo de 28° el manto de nieve permanece estático a no ser que se produzcan situaciones atmosféricas inusuales que den lugar a nevadas extraordinarias. Por encima de los 45° la nieve caída no se ancla al suelo o al manto subyacente, sino que se deposita en niveles inferiores.
- *Morfología del terreno*. Es otro factor que puede favorecer o inhibir el deslizamiento de la capa de nieve. En las zonas cóncavas se producen en el manto fuerzas de compresión que tienden a estabilizarlo. En las zonas convexas aumentan las fuerzas de tracción, hecho que puede dar lugar al desencadenamiento de aludes.
- *Rugosidad del terreno*. Un sustrato rugoso favorece el anclaje de la nieve y reduce la probabilidad de desencadenamiento de aludes. En este factor influyen tanto la litología como la geomorfología o la vegetación.
- *Vegetación*. Es uno de los criterios directos más importantes para la delimitación de zonas probables de aludes, porque las trazas del paso de aludes permanecen en la vegetación, dando lugar a zonas con ausencia total de esta cuando el fenómeno es frecuente y, además, porque el porte y la densidad de la vegetación son factores muy importantes en relación con el desencadenamiento de aludes, siendo los bosques cerrados el tipo de vegetación menos proclives a registrar aludes aunque pueden verse afectados por avalanchas desencadenadas en cotas superiores, fuera del bosque.
- *Orientación*. Tiene importancia no tanto en el desencadenamiento de aludes como en el tipo de los que se pueden producir.

Para analizar todas estas variables en la zona de estudio se han seguido varias fases que quedan resumidas en la figura 7.

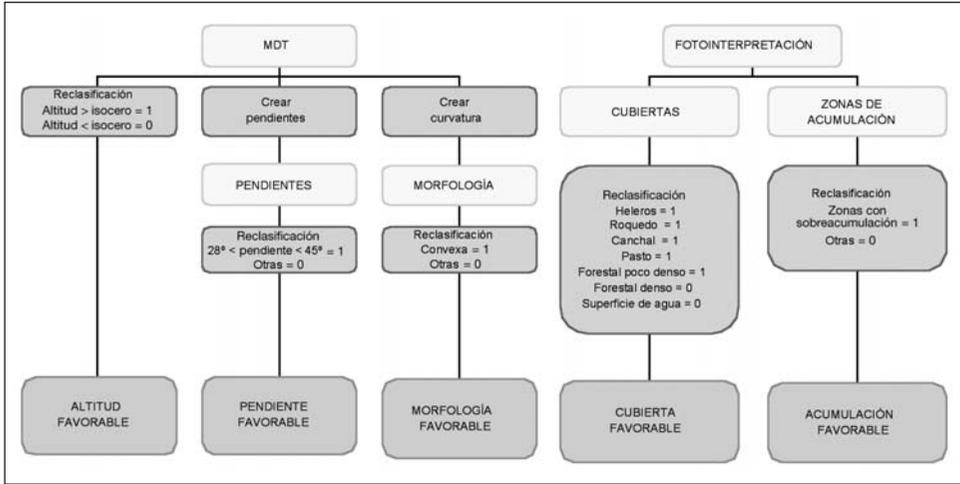


Fig. 7. Esquema de trabajo.

1. Fotointerpretación. En esta fase se han realizado las siguientes cartografías:
 - *Cartografía de cubiertas.* En esta cartografía se han diferenciado áreas de distinta rugosidad con distinto comportamiento frente a las probabilidades de desencadenamiento de los aludes. Posteriormente, se ha llevado a cabo una reclasificación de las distintas categorías para obtener un *mapa de cubiertas favorables al desencadenamiento de aludes.*
 - *Cartografía de zonas con sobreacumulación.* Se han cartografiado las áreas existentes en la zona de estudio en las que se producen acumulaciones de nieve normalmente como consecuencia de ventiscas y vientos fuertes. Para la realización de esta cartografía no solo se ha utilizado la fotointerpretación, sino también la información facilitada por los guardas del refugio de Respomuso, cuyo conocimiento del entorno de la zona permite delimitarlas. La reclasificación de las zonas de sobreacumulación se ha hecho suponiendo favorables al desencadenamiento dichas zonas y no favorables aquellas en las que la nieve no queda acumulada. El resultado es un mapa de acumulaciones favorables (Fig. 8).



Fig. 8. Aspecto típico de una sobrecumulación.

2. Creación de un Modelo Digital de Elevaciones. El MDE se ha elaborado a partir de la altimetría digital a escala 1: 25 000 suministrada por el Instituto Geográfico Nacional correspondiente a la Hoja 145 (Sallent de Gállego). Mediante la utilización del Sistema de Información Geográfica (ArcView 3.2) se han derivado las siguientes cartografías:
 - *Cartografía de altitudes favorables.* Se han considerado altitudes favorables aquellas que superan la altitud de la isocero y no favorables aquellas que quedan por debajo de esa cota. Puesto que esta altitud varía a lo largo de la temporada y que disponemos de la estimación de esta altitud por meses en la zona de estudio (RIVA, 2000), se ha realizado un mapa para cada mes de la temporada invernal (diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo).
 - *Cartografía de pendientes favorables.* A partir de la reclasificación del mapa de pendientes se ha obtenido el de pendientes favorables. Se han considerado pendientes favorables aquellas comprendidas entre los 28° y los 45° y no favorables todas las demás.

- *Cartografía de morfologías favorables.* A partir del MDE se ha elaborado el mapa de curvaturas, con las categorías convexa, cóncava y llana. Este mapa se ha reclasificado considerando favorables las curvaturas convexas, que favorecen la rotura del manto de nieve por tracción y su deslizamiento, y no favorables las curvaturas cóncavas y planas.
- *Cartografía de orientaciones.* A partir del MDE se ha elaborado una cartografía en la que aparece la orientación de cada píxel de 10 m de lado. Las categorías diferenciadas son norte, este, sur, oeste y zonas llanas. Esta cartografía se ha utilizado de forma cualitativa para analizar la distribución espacial de los aludes a lo largo de la temporada.

Las zonas favorables al desencadenamiento de aludes se han localizado superponiendo una combinación de los mapas de altitudes favorables, el de pendientes favorables, el de morfologías favorables, el de cubiertas favorables, el de zonas con sobreacumulación favorable y el de cubiertas favorables.

Para elaborar esta combinación se ha considerado que no todas las variables tienen el mismo comportamiento al contribuir al desencadenamiento de aludes. Así, los aludes no se producen si no existe un manto de nieve continuo, si la pendiente no es favorable o si la cubierta es lo suficientemente rugosa como para no permitir el desencadenamiento. En este sentido, la altitud favorable, las pendientes favorables y las cubiertas favorables se han considerado como factores necesarios para que se produzca un alud. Por el contrario, la existencia de sobreacumulación o la existencia de morfologías favorables no son suficientes por sí mismas para que se produzca un desprendimiento de nieve, por lo que se han tomado solo factores de intensificación.

Todas estas consideraciones han hecho que para delimitar las zonas favorables al desencadenamiento de aludes se haya propuesto la combinación de variables que puede verse en la figura 9.

De esta combinación se obtiene un conjunto de seis mapas, uno para cada uno de los meses considerados en el estudio. En estos mapas, la pro-

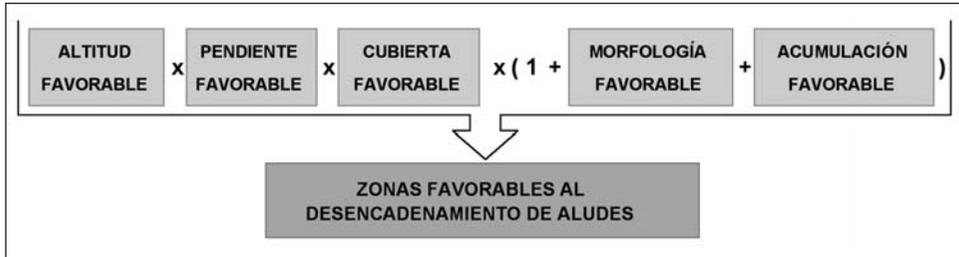


Fig. 9. Criterio utilizado para la superposición de coberturas.

babilidad de desencadenamiento de aludes toma valores de 0 a 3. La escala que se ha propuesto es la siguiente:



Se han considerado zonas con baja probabilidad de desencadenamiento aquellas para las que el valor de la superposición de las variables es 0, lo que significa que al menos una de las variables necesarias es no favorable.

La probabilidad moderada se aplica a aquellas zonas para las que las variables necesarias (altitud, pendiente y cobertura) son favorables, pero las de intensificación (morfología y sobreacumulación) no lo son.

La probabilidad se considera alta para aquellas zonas en las que las variables necesarias son favorables simultáneamente y también lo es una de las variables de intensificación. En estas áreas el valor de la superposición es 2.

Finalmente, cuando todas las variables, tanto las necesarias como las de intensificación, son favorables a la vez el valor de la superposición de coberturas es 3 y la probabilidad de desencadenamiento de aludes en estas zonas se ha definido como muy alta.

RESULTADOS

En la figura 10 aparecen los mapas de zonas favorables al desencadenamiento de aludes en el circo de Piedrafita para los meses considerados (diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo).

Como puede observarse, gran parte de la superficie del circo de Piedrafita presenta probabilidad de ser origen de un alud. Esta superficie disminuye a lo largo de la temporada de forma que es máxima en enero y febrero y mínima en mayo.

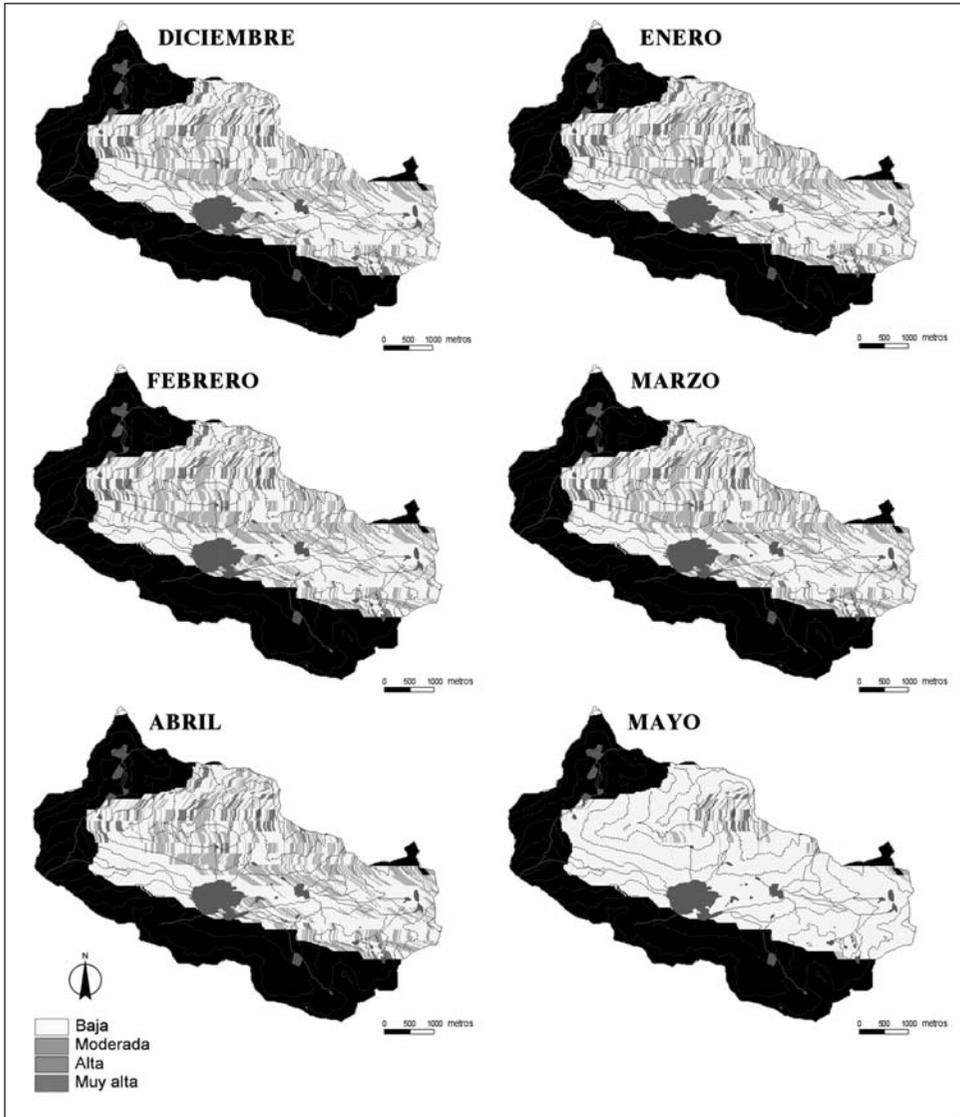


Fig. 10. Cartografía de zonas favorables al desencadenamiento de aludes en el circo de Piedrafita.

La probabilidad de desencadenamiento es baja en todas aquellas zonas que presentan menores pendientes. Incluso en las mayores altitudes, la presencia de una topografía llana o con escasa pendiente hace que la probabilidad sea baja. De esta forma, la probabilidad es baja en el fondo del circo, sensiblemente plano y con presencia de una cubierta que no favorece el desencadenamiento, y en los fondos de los valles colgados adyacentes, que aunque presentan una altitud y una cubierta favorable al desencadenamiento, no cumplen los requisitos de pendiente favorable.

Las zonas con probabilidad moderada son muy escasas. Según los criterios elegidos para la elaboración de estos mapas, la probabilidad se considera moderada cuando se cumplen los criterios necesarios (altitud, pendiente y cubierta favorable), pero no los de intensificación (morfología y sobreacumulación). De la observación de la figura se llega a la conclusión de que en aquellas zonas en las que se dan los tres criterios necesarios, en general, también es favorable alguno de los criterios de intensificación.

Las áreas con probabilidad alta son aquellas en las que son favorables los criterios necesarios y uno de los criterios de intensificación. Tal y como se observa, una gran parte de la superficie del circo de Piedrafita presenta una probabilidad alta de desencadenamiento. Si comparamos los mapas obtenidos con el de morfologías favorables (Fig. 11) observamos que las zonas con probabilidad alta de desencadenamiento se ajustan bastante a

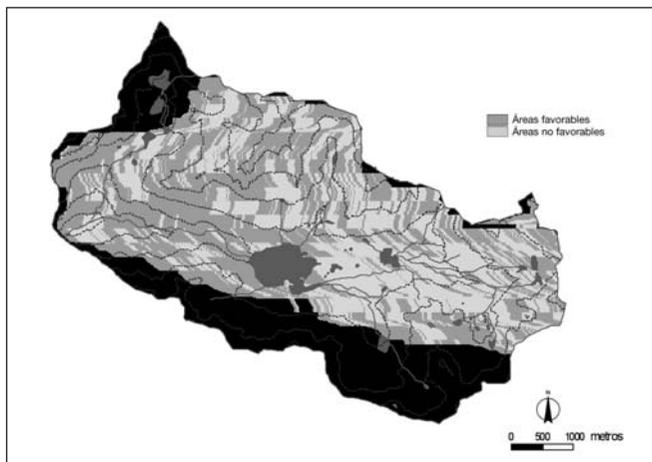


Fig. 11. Mapa de morfologías favorables.

aquellas con morfologías favorables. Esto nos permite concluir que, en la mayor parte de los casos, el criterio de intensificación que contribuye es el de morfología frente a la sobreacumulación.

Las zonas con probabilidad muy alta de desencadenamiento son aquellas en las que son favorables tanto los criterios necesarios como los de intensificación. Estas zonas aparecen mayoritariamente asociadas a las zonas de sobreacumulación.

Con respecto a la distribución espacial, el fondo del circo y los fondos de los valles colgados adyacentes presentan, en general, una probabilidad baja, debido a su topografía llana.

Las áreas con probabilidad moderada aparecen dispersas en todo el circo presentando una gran variedad de altitudes y orientaciones. En general, se localizan en los bordes de las áreas con probabilidad alta o muy alta. Una característica de estas zonas es que no se agrupan para dar áreas extensas, sino que aparecen constituyendo píxeles aislados.

Las áreas con probabilidad alta también aparecen distribuidas por todo el circo, en laderas con distintas orientaciones y a distintas altitudes. Frente a las de probabilidad moderada, estas sí que aparecen agrupadas, dando lugar a grandes extensiones en las que la probabilidad de desencadenamiento es alta.

Finalmente, las zonas con probabilidad muy alta aparecen en las zonas con mayor altitud, y son mucho más frecuentes en el cuadrante noroeste del circo (valles de Arriel, Frondiellas y pie del Balaitús) debido a que la topografía favorece la sobreacumulación de nieve.

La evolución temporal de estas zonas está condicionada por la variación de la altitud de la isocero a lo largo de la temporada. Los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril, la altitud de la isocero se encuentra por debajo de 2000 m. Puesto que la mayor parte del circo de Piedrafita se encuentra por encima de dicha altitud, durante estos meses una gran parte de su superficie presenta alguna probabilidad de desencadenamiento. La situación cambia de forma radical en el mes de mayo. En este mes, la altitud de la isocero se eleva por encima de los 2500 m (RIVA, 2000). Puesto que el criterio de altitud favorable se ha elaborado en función de la isocero, el mapa resultante para el mes de mayo solo presenta probabilidades moderadas, altas o muy altas en las zonas del circo que se encuentran por

encima de esa altitud y que cumplen los otros criterios favorables. En consecuencia, en el mes de mayo, la superficie con probabilidad baja de desencadenamiento aumenta notablemente mientras que las zonas en las que esta es moderada, alta o muy alta disminuyen de forma importante. Lógicamente, estas áreas de mayor probabilidad se localizan en las zonas más elevadas del circo, en los circos de Frondiellas y Balaitús y en el extremo oriental de este.

CONCLUSIONES

Entre los riesgos naturales que afectan a las áreas de montaña, el desencadenamiento de aludes ocupa un lugar significativo.

En España, los aludes solo se presentan de forma habitual en la cordillera pirenaica de forma que es en esta cadena montañosa en la que se ha llevado a cabo la mayor parte de los trabajos relacionados con aspectos teóricos y prácticos de este proceso geomorfológico.

El Pirineo central aragonés es una de las zonas en las que el desencadenamiento de aludes se presenta con mayor frecuencia. La existencia de elevadas altitudes, fuertes pendientes y cubiertas poco rugosas hacen que la zona sea propicia al desencadenamiento de avalanchas. Otros hechos como la presencia de zonas de acumulación y de fuertes rupturas de pendiente en el terreno contribuyen y aumentan la probabilidad de estos desencadenamientos.

En el circo de Piedrafita existe constancia de ocurrencia de aludes en distintas temporadas y con consecuencias muy variadas.

El extremo norte del circo, el valle de Arriel, el circo de Frondiellas, y el pie del Balaitús son las zonas donde se concentra la mayor probabilidad de desencadenamientos. Los extremos meridional y oriental de la zona de estudio presentan una probabilidad menor a estos. Las zonas menos probables son aquellas con menor pendiente, el fondo del circo y los fondos de los valles adyacentes.

Entre diciembre y abril la distribución de áreas favorables al desencadenamiento de aludes es muy similar. En mayo esta situación cambia, ya que al ir desapareciendo el manto de nieve la probabilidad de ocurrencia de

aludes se limita al macizo de Balaitús y el circo de Frondiellas, en los que este manto se mantiene.

Los resultados obtenidos suponen una primera aproximación a la delimitación de las zonas de aludes. El siguiente paso a llevar a cabo sería la comprobación en campo de la ocurrencia de aludes en las zonas delimitadas y la mejora del algoritmo utilizado a partir de los resultados obtenidos con este trabajo.

Estos resultados muestran cómo el desencadenamiento de aludes se ve muy condicionado por la radiación recibida por el manto. En consecuencia, la incorporación de la distribución espacial de la radiación recibida supondría, probablemente, una notable mejora del método propuesto para la elaboración de la cartografía.

La delimitación de estas zonas favorables al desencadenamiento de aludes supone un primer paso para la elaboración de mapas de riesgo de aludes. Estos mapas, como otras cartografías de riesgos, son esenciales para la planificación y gestión del territorio y para la instalación de distintas infraestructuras en áreas de montaña.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOLOGNESI, R. (2002). Protection du refuge de Respomuso contre les avalanches. En CHUECA, J., y JULIÁN, A. (1999). Cartografía de zonas probables de aludes en el valle de Ordesa (Pirineo aragonés). *Geographicalia*, 37: 73-86. Zaragoza.
- CHUECA, J.; JULIÁN, A., y PEÑA, J. L. (2000). El relieve del Alto Gállego. *Boletín Glaciológico Aragonés*, 1: 41-79.
- CHUECA, J.; JULIÁN, A., y RENÉ, P. (2004). El glaciario actual en los macizos de Balaitús e Infiernos – Punta Zarra (Pirineo central). *Resúmenes de las Jornadas de Geografía Física de Aragón*: 95-101. Zaragoza.
- CUCHÍ, J. A., y LEO, E. (2004). Análisis de avalanchas en el Pirineo altoaragonés. *Barra-bes.com, cuadernos técnicos*, 13 (marzo-abril): 28-31.
- GUYOMARC'H, G. (1996). *Les avalanches*. Centre d'Études de la Neige. Météo France. S. Martin d'Heres. Grenoble.
- IBARRA, P., y PÉREZ, F. (2000). La vegetación del alto valle de Tena. *Boletín Glaciológico Aragonés*, 1: 127-149.
- JULIÁN, A., et alii (2000). Cartografía de zonas probables de aludes en el Pirineo aragonés: metodología y resultados. *Boletín de la AGE*, 30: 119-134. Madrid.

- MCCLUNG, D., y SCHAEERER, P. (1996). *Avalanchas*. Sua Edizioak – Ediciones Desnivel. 309 pp.
- PEÑA, J. L., et alii (2002). *Mapa geomorfológico de Aragón*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Zaragoza.
- REY, L. (1985). *La nieve, su metamorfosis. Los aludes*. MOPT. Madrid.
- RIVA, J. de la (2000). Caracterización climática del alto valle de Tena. *Boletín Glaciológico Aragonés*, 1: 81-109.
- RODES, P. (1999). *Análisis de los accidentes por aludes de nieve en España. Una aproximación a la revisión histórica*. Ediciones Ergon. Madrid. 73 pp.
- SÁEZ ALAGÓN, M^a T. (1993). *Memoria de la Cartografía 1: 25 000 de zonas probables de aludes en el cuadrante II de la hoja 144 de Ansó*. ITGME. Madrid.

CAVIDADES TECTÓNICAS EN LA CUENCA DEL ISUELA (HUESCA): GRIMAS DE SANTOLARIETA Y CUEVAS DE ORDÁS Y DE LA CABRA

José Luis VILLARROEL^{1,2}

José Antonio CUCHÍ^{1,2}

RESUMEN. — La mayoría de las cavidades del Alto Aragón son de tipo kárstico. Sin embargo, existen algunas de tipo tectónico. El presente trabajo describe algunas pequeñas cavidades de este tipo en el congosto del río Isuela.

ABSTRACT. — Most caves of Alto Aragón are of karstic type. However a few ones belong to the tectonic type. The present paper describes some small caves of tectonic type located at the Isuela river canyon.

KEY WORDS. — Tectonic caves, Prepyrenees, Aragón (Spain).

INTRODUCCIÓN

Un amplio porcentaje de cavidades en caliza se forman por karstificación, complejo proceso basado en la disolución de esta roca por el flujo de aguas meteóricas infiltradas. Sin embargo, existe otro tipo de cavidades, denominadas colectivamente como tectónicas. Aunque esta denominación parece relacionada con las orogenias montañosas, su génesis está en la rotura

¹ Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A). Edificio Torres Quevedo. C/ María de Luna, 3. E-50071 ZARAGOZA.

² Grupo de Tecnologías en Entornos Hostiles (GTE). Universidad de Zaragoza. jlvilla@unizar.es, cuchí@unizar.es

y desplazamiento de masas discretas de roca dura, especialmente en zonas de paredes abruptas. La presencia de fracturas previas, diaclasas o fallas, favorece su formación, aunque también se pueden formar *ex novo* por descompresión o llamada gravitatoria.

Las cuevas tectónicas, de facto profundas grietas, son normalmente menos interesantes que las kársticas. Generalmente son de corto recorrido, en una típica morfología de pasillos estrechos rectilíneos bastante monótonos, unidos por quiebros angulosos. Suelen ser muy secas, sin ríos subterráneos. Presentan muy pocos espeleotemas y abundan en canchales y bloques empotrados, muchas veces inestables.

Varias de estas cavidades se conocen en el Pirineo, a favor de las grandes paredes formadas por excavación de los glaciares pleistocenos, con ejemplos en Cerler, planas del Aspe y Lecherines (Aísa). La primera cita en la provincia, en Cerler, fue descrita por GARRIGA y FREIXAS (1973).

También se encuentran en el Prepireneo, donde la fuerte erosión iniciada a mediados del Mioceno con la apertura del Ebro hacia el mar, supuso la formación de un fuerte escarpe en el cabalgamiento frontal surpirenaico, y el tallado de grandes cañones por los ríos pirenaicos y prepirenaicos. En esta zona, ejemplos de cavidades tectónicas en caliza son la cueva de la Dentadura (Loarre), Peña Espaldada (Aniés), el agujero de Calcón (San Julián de Banzo) y diversas cuevas, como la de Valdearazas, en el diapiro de Naval. Caso singular son las profundas grietas verticales en conglomerados, de Culibilla, en el valle de Riglos, y Cendrilla, sobre el valle del río Calcón, en Panzano.

Una zona de algún interés, en tema de las cavidades, es el modesto congosto del río Isuela, entre Arguis y Nueno. En la zona alta está el sistema de la cueva de Sanclemente. En las zonas media y baja se encuentran las cavidades tectónicas objeto del presente trabajo.

EL MARCO GEOLÓGICO

El congosto del Isuela tiene una longitud de unos 4 km, desde la foz de Arguis, hoy ocupada por el muro de la presa del mismo nombre, hasta las inmediaciones de la localidad de Nueno. Vía tradicional de tránsito entre el llano y la montaña oscense, ya se menciona en los trabajos del naturalista

Ignacio de Asso, de finales del siglo XVIII. Su geología ha sido estudiada por diversos autores, entre los que puede señalarse a MALLADA (1878). Merece destacarse el trabajo de MILLÁN (2006), que presenta un detallado análisis estructural del Prepirineo occidental.

El Isuela discurre y ha cortado perpendicularmente las estructuras de cabalgamiento de las sierras exteriores. En la zona superior, desde la presa al molino de Arguis, aparecen materiales carbonatados del Cretácico superior y Eoceno medio separados por arcillas rojas, calizas y algo de carbón del Garumniense.³ La zona media e inferior del congosto, con la excepción de las crestas de Nueno y una pequeña ventana tectónica, está dominada por calizas tableadas y grises atribuidas por MALLADA (1878) al *Muschelkalk*. Están acompañadas por yesos y margas, tradicionalmente descritas como versicolores, del Keuper y en profundidad presentan sal gema.⁴ Estos materiales cabalgan sobre el Mioceno de la cuenca del Ebro. Localmente, adosados al frente de cabalgamiento, se presentan conglomerados masivos, en San Julián de Lierta y Salto de Roldán, ausentes entre Nueno y Santa Eulalia la Menor (Santolarieta).

En la zona del presente estudio, el *Muschelkalk* presenta un espesor de unos 80 metros de potencia, complicado localmente por la tectónica. Desde el llano, por ejemplo desde Arascués, es bien visible como un zócalo situado por encima de Santolarieta. Este se adentra por la orilla izquierda del Isuela hasta la ermita de Ordás, donde forma un característico pliegue, coronado por un antiguo muro. A su pie, en el pasado hubo una cantera. Por el este, estas calizas continúan bajo el Piacuto. En la orilla derecha del Isuela este material está topográficamente más bajo, desde la fuente de la Rayeta hasta el barranco A Batalla.

Como consecuencia de la erosión del valle del Ebro, en general, y del valle del Isuela en particular, el *Muschelkalk* asociado al Keuper forma acantilados inestables, con tendencia al deslizamiento y vuelco, favorecido por sistemas de fallas que también afectan a los materiales más recientes.

³ Visibles bajo una capa de gunitado, a la altura de los puentes del camino y la antigua carretera C-133.

⁴ Detectada en un sondeo realizado por el Servicio Geológico de Obras Públicas a inicios de la década de los noventa.

Así, la carretera nacional 330, un poco por encima de Nueno, p. k. 586,500, está afectada por un antiguo y gran deslizamiento, muy probablemente reactivado por la apertura de aquella. Su estabilización ha exigido obras importantes. En 2004 se produjo una gran caída de bloques en el cortado norte del castillo de Ordás, que no afectó a la carretera. También el Cretácico ha dado problemas. El 10 de junio de 1997, a la altura del antiguo molino de Arguis, p. k. 589,500, se produjo un gran desprendimiento de caliza. Cortó la carretera, de donde se retiraron 25 000 m³ de roca.

Como se ha señalado, tanto en el Prepirineo como en las calizas del con-gosto existen procesos de karstificación, que se encuentran resumidos en CUCHÍ y SANCHO (1991). Estos podrían remontarse al Mioceno y todos los indicios señalan que hoy son más débiles que en el pasado, en una historia aún no bien conocida.

En calizas del Eoceno, cerca de la presa de Arguis, aparece el sistema kárstico de Sanclemente, que cuenta con un estudio parcial realizado por GIMENO y CUCHÍ (1996). El conducto principal, todavía insuficientemente explorado, drena la zona de Las Calmas y aflora en una serie de surgencias por la orilla derecha y cauce del Isuela, desde el pie de la presa de Arguis hasta el puente de la antigua C-136. La más espectacular es el *tropplein* que da nombre al sistema, que solo funciona tras lluvias importantes. En la pared calcárea de la orilla izquierda del Isuela, frente a la gran boca del sistema anterior, se abren varios *troppleins* impenetrables.

Las calizas del Cretácico superior y del Garumniense no muestran rasgos de karstificación.

Los procesos kársticos están también presentes en el Muschelkalk pero con menor intensidad que en el Eoceno. Así, aguas abajo del barranco A Batalla, entre el río y la antigua cabañera, hay una serie de pequeños abrigos⁵ con algunos espeleotemas parietales. En la orilla opuesta, hay zonas de lapiaz de tipo estructural entre Ordás y Santolarieta. En la zona central del con-gosto del Isuela afloran las aguas levemente termales de Baños de Nueno, de un acuífero que se estima situado en el Muschelkalk y relacionado

⁵ Revisados en 2005-2006, bajo la dirección de la profesora Lourdes Montes, de la Facultad de Humanidades de Huesca.

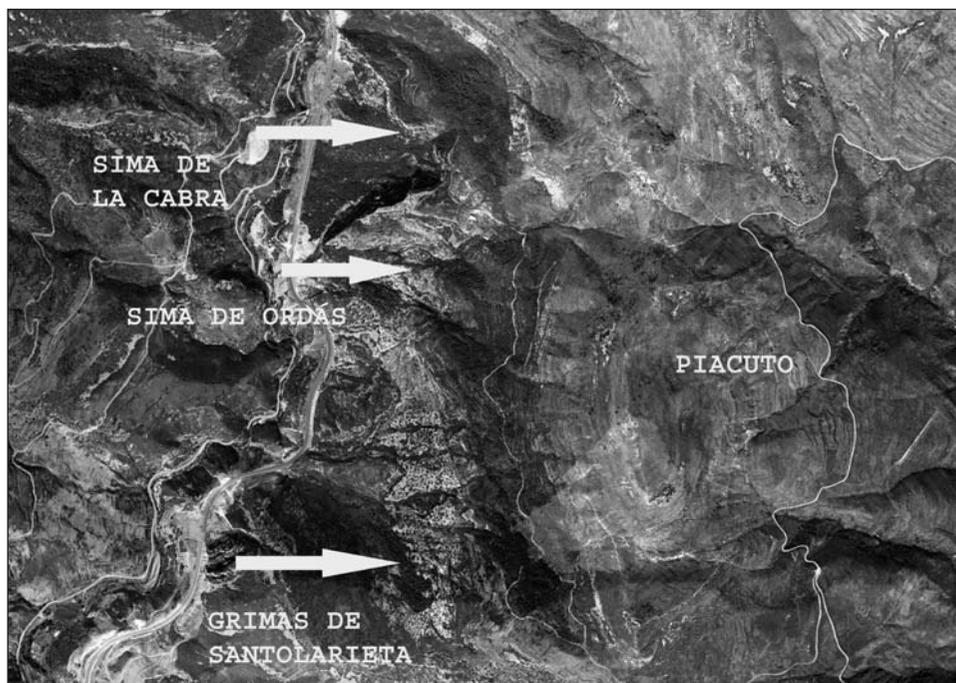


Fig. 1. Ubicación de las cavidades tectónicas del Isuela.

con una estructura anticlinal. Alguna información sobre este termalismo se presenta en CUCHÍ y cols. (2003). En la zona final del congreso hay varias modestas fuentes de agua fría relacionadas también con estas calizas. La más importante es la fuente de la Rayeta, situada a la entrada del primer túnel de la antigua carretera C-133, en la margen derecha del cauce.

El presente trabajo presenta información sobre dos conjuntos de cavidades tectónicas del congreso. Uno está situado en las cercanías de la ermita de Ordás. El otro entre Santolarieta y Ordás. La figura 1 presenta la ubicación de ambas zonas a partir de una imagen del SITAR, de la Diputación General de Aragón, tomada en septiembre de 1997.

DESCRIPCIÓN DE CAVIDADES

Las cavidades han sido visitadas y topografiadas de acuerdo con la metodología básica en la exploración espeleológica.

Las grimas de Santolarieta

Las simas de Santa Eulalia de la Peña, también conocidas como *grimias de Santolarieta*, se ubican en el término municipal de Nueno. Están en un pequeño promontorio de la ladera oeste del Piacuto, que domina la zona final del valle del Isuela y Nueno. Por el sur, se encuentra el cortado y laderas que descienden hacia Sabayés. Estas simas, conocidas desde antaño por los cazadores de la zona, se reflejan en un mapa de la cuenca del Isuela del *Boletín 1972* del GIE Peña Guara, sin referencia a exploraciones. En 1997, uno de los autores del presente artículo (JLV) retoma el trabajo, con ayuda de miembros del GIEPG y del entonces recién creado GTE.

El acceso se realiza mediante vehículo todo terreno, por la pista del pantano de Belsué desde Sabayés. Superado el collado de Salto de Roldán se toma un ramal, a la izquierda, que merodea el Piacuto por el sur y el oeste, por un pinar de repoblación hasta la ermita de Ordás. En las cercanías de un comedero de buitres, se inicia una corta marcha a pie, de un centenar de metros, hacia el oeste. Una alternativa, que exige mayor recorrido peatonal, parte de Santolarieta, por la pista que sale de la iglesia hacia el norte. Recorridos unos cientos de metros se toma otra pista a mano derecha que se convierte en senda a lo largo de una línea de alta tensión y desemboca en la pista del primer recorrido.

Tabla I. Características de las simas más importantes en las grimas de Santolarieta (Nueno, Huesca).

<i>Sima</i>	<i>Profundidad (m)</i>	<i>Desarrollo (m)</i>	<i>Observaciones</i>
S1	10	8	Boca circular
G1	10 (máxima)	25	Cielo abierto, anchura máxima: 1 m
G2	15 (máxima)	100	Cielo abierto, anchura máxima: 3 m. Vegetación
G3	13 (máxima)	174	Casi todo cielo abierto, anchura media: 1,5 m
S2	11	25	Fractura cerrada. Anchura media: 1,5 m
S3	15 (explorada) 30 (estimada)	Más de 33	Fractura cerrada en altura. Anchura media: 2 m
S4	8		Boca de grandes dimensiones (10 x 20 m)

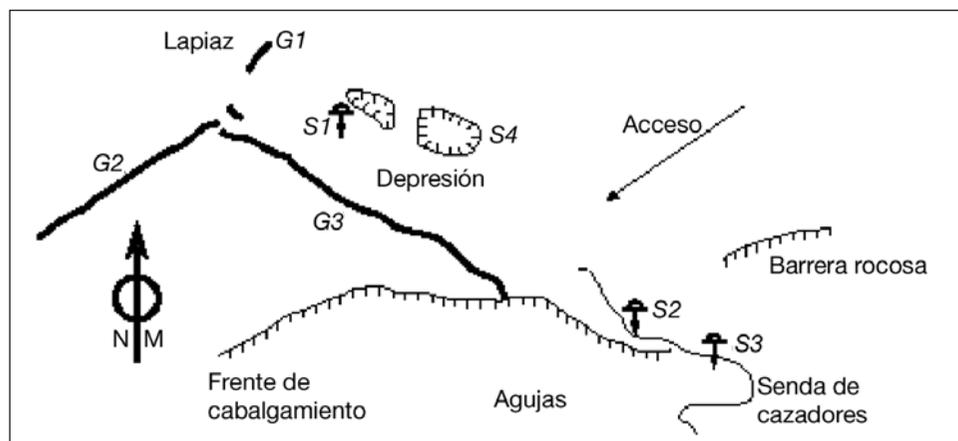


Fig. 2. Esquema de ubicación de cavidades más importantes en las grimas de Santolarieta (Nueno, Huesca).

Tabla II. Ubicación de las grimas más importantes. Coordenadas UTM. Huso 30T. Datum European 1979.

<i>Sima</i>	<i>Este</i>	<i>Norte</i>	<i>Altura</i>	<i>Sima</i>	<i>Este</i>	<i>Norte</i>	<i>Altura</i>
S4	713058	4683390	1191	G32	713017	4683359	1186
S1	712994	4683408	1175	G33	713051	4683352	1193
G1	712957	4683433	1169	S2	713136	4683334	1200
G31	712934	4683401	1178	S3	713165	4683328	1200

Las grimas están formadas por dos familias de fracturas. A favor de estas se localizan una serie de simas (S) y grietas (G). Las más importantes se resumen en la tabla I y se han emplazado esquemáticamente en la figura 2 y mediante GPS en la tabla II. El acceso al interior de las grietas es relativamente sencillo, aunque hay que buscar el punto adecuado. El descenso a las simas requiere técnicas espeleológicas, con uso de luz artificial, cuerdas y material de descenso y remonte (rapeladores, descensores y bloqueadores). Los anclajes se realizan en matorrales o clavijas de escalada. Es importante colocar rozaderas dadas las agudas aristas que presenta la piedra.

Como se ha señalado y muestra la figura 3, hay dos familias de fracturas, que se han generado por esfuerzos de tipo extensivo. La más importante tiene



Fig. 3. Fracturación sobre ortofoto SITAR en las grimas de Santolarieta.

orientación N330°E. La segunda familia tiene una orientación N120°. Algunas de estas fracturas forman grietas a cielo abierto de hasta 20 metros de profundidad y cuyo desarrollo va de unas decenas de metros hasta sobrepasar el centenar. Otras se introducen en la montaña con desarrollos de más de 30 metros. En ninguna de las fracturas se observan fenómenos de corrosión-erosión ni de reconstrucción. Este hecho hace pensar en la juventud de estas fracturas. Se descarta, en todo caso, su pertenencia a un posible sistema subterráneo de tipo kárstico.

En visita realizada en agosto de 2007, se ha encontrado una nueva sima que no se había detectado en las campañas de trabajo de 1997 a 2000. Dada su ubicación entre otras simas y grimas visitadas, parece más que probable que se ha abierto recientemente al exterior.

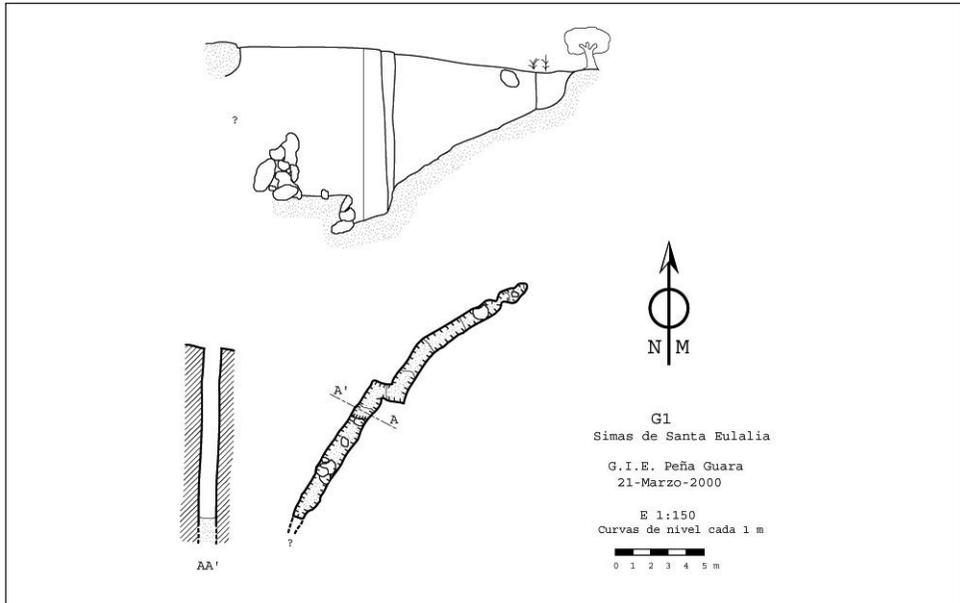


Fig. 4. Topografía de la cavidad G1, de las grimas de Santolarieta (Santa Eulalia / Santolaria de la Peña, Huesca).

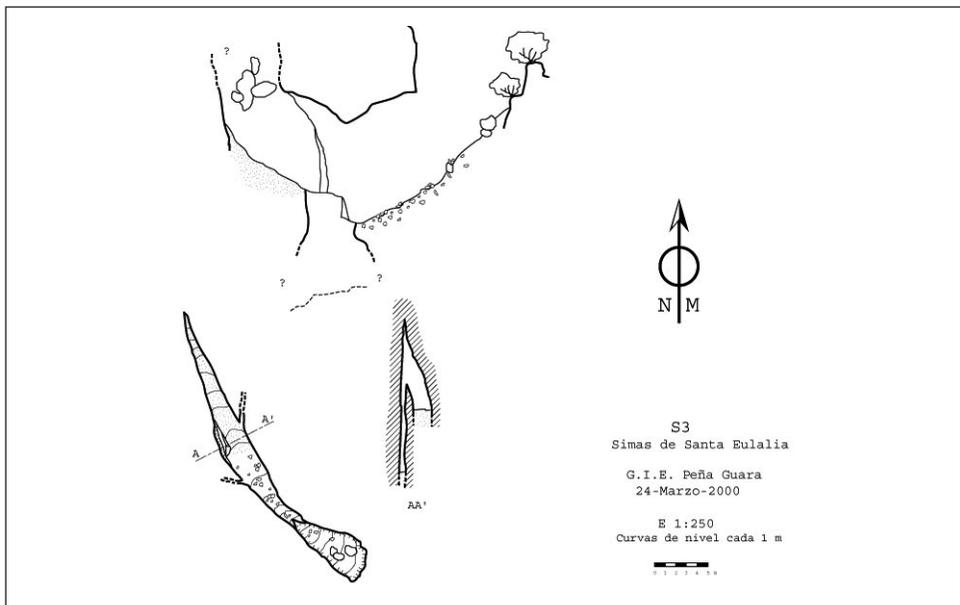


Fig. 5. Topografías de la cavidad S3, de las grimas de Santolarieta (Santa Eulalia / Santolaria de la Peña, Huesca).

Sima de Ordás

La sima o cueva de Ordás, también conocida como *cueva del Barranco* o *cueva del Piacuto*, se encuentra situada en las inmediaciones de la ermita de Ordás, antiguo poblado medieval.

Coordenadas GPS: 712993, 4684613. Huso: 30T

Coordenadas geográficas: latitud 42° 17' 0" N, longitud 0° 25' 0" W

Se accede a partir del nuevo acceso a la ermita desde la N-330, p. k. 589,400, desde el inicio de la corta pista forestal situada al norte de la antigua cantera. Una vez en la ermita de Ordás (Fig. 4), se deja al oeste el muro del antiguo castillo, conocida localmente como *la Cárcel*. A continuación se toma el camino viejo que accedía directamente a la ermita desde Nueno, deshabilitado por la construcción de la carretera N-330. El camino, prácticamente perdido en algunos tramos, atraviesa dos barrancos. Unos metros antes de llegar al cauce del segundo, se deja para ascender por una ladera

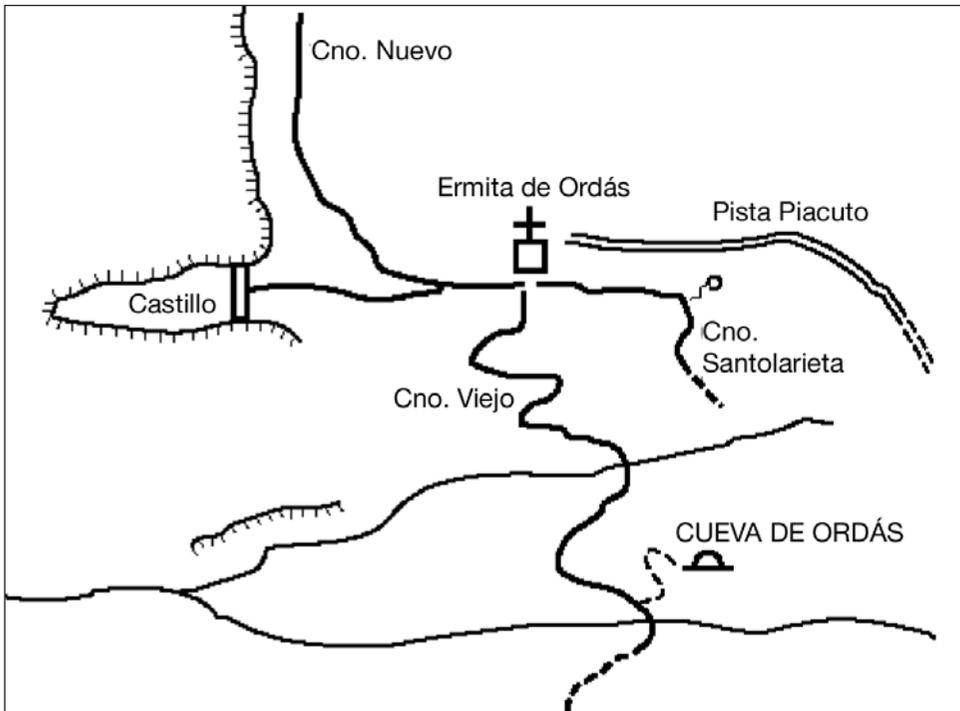


Fig. 6. Esquema de acceso a la cueva de Ordás.

rocosa y desnuda de vegetación. La boca se encuentra a unos 40 metros del camino, detrás de unas carrascas.

La cueva era conocida por los vecinos de Nueno y fue explorada por primera vez por miembros del GIE Peña Guara en 1970. Aparece un informe en el *Boletín GIE PG* nº 1, pero no queda claro si se exploró en su totalidad. En las posteriores exploraciones de 1996 y 1997 no se localizó ningún material de instalación ni ningún otro indicio. Esta tiene un desnivel total de 26,4 metros, que coincide con su profundidad, y un desarrollo de 54 metros. Se abre a favor de una diaclasa que se va cerrando paulatinamente. El techo de la cavidad está formado mayoritariamente por bloques empotrados. El suelo de la cavidad está compuesto de materiales clásticos, tierra y bloques de menor tamaño que los del techo. Casi al final de la cavidad, la diaclasa se desfonda y se estrecha. Para descender al fondo de esta es preciso realizar un rápel de 13 metros. En el fondo de la grieta, aún se estrecha más hasta que se hace impenetrable al cabo de unos pocos metros.

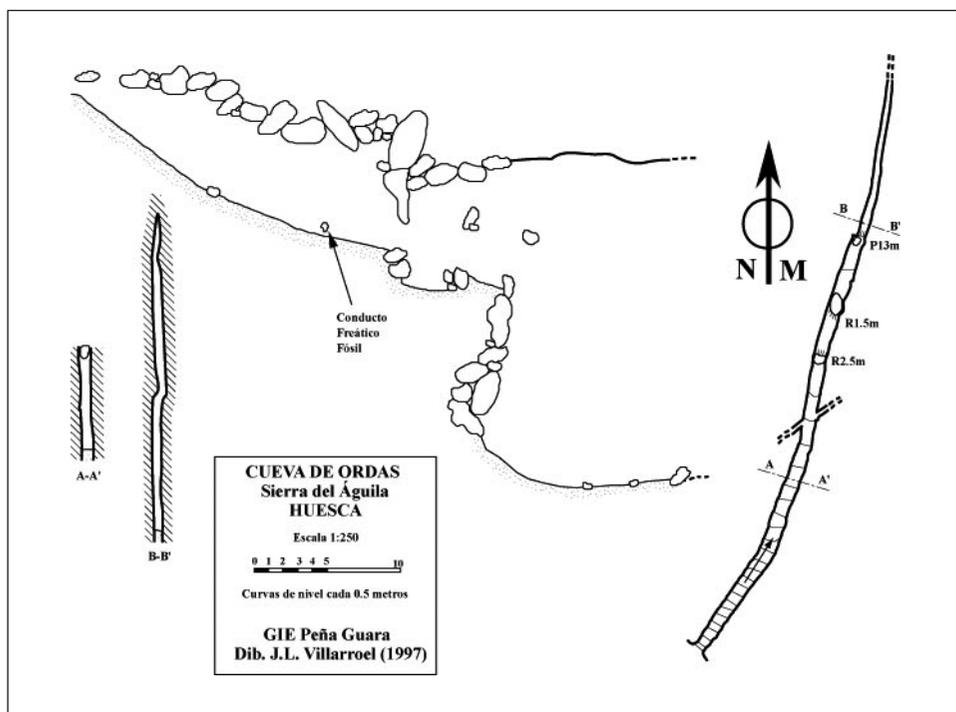


Fig. 7. Topografía de la cueva de Ordás (Nueno).

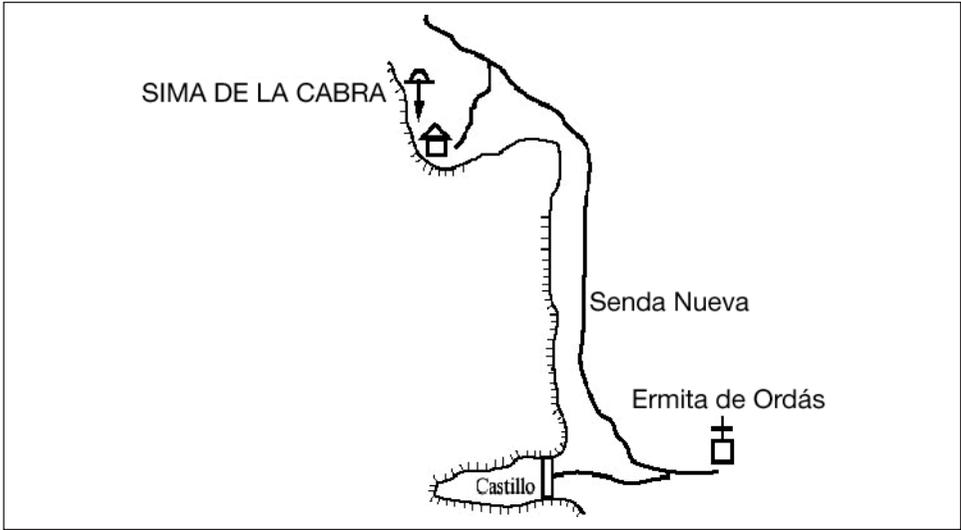


Fig. 8. Ubicación de la sima de la Cebra (Ordás, Nueno, Huesca).

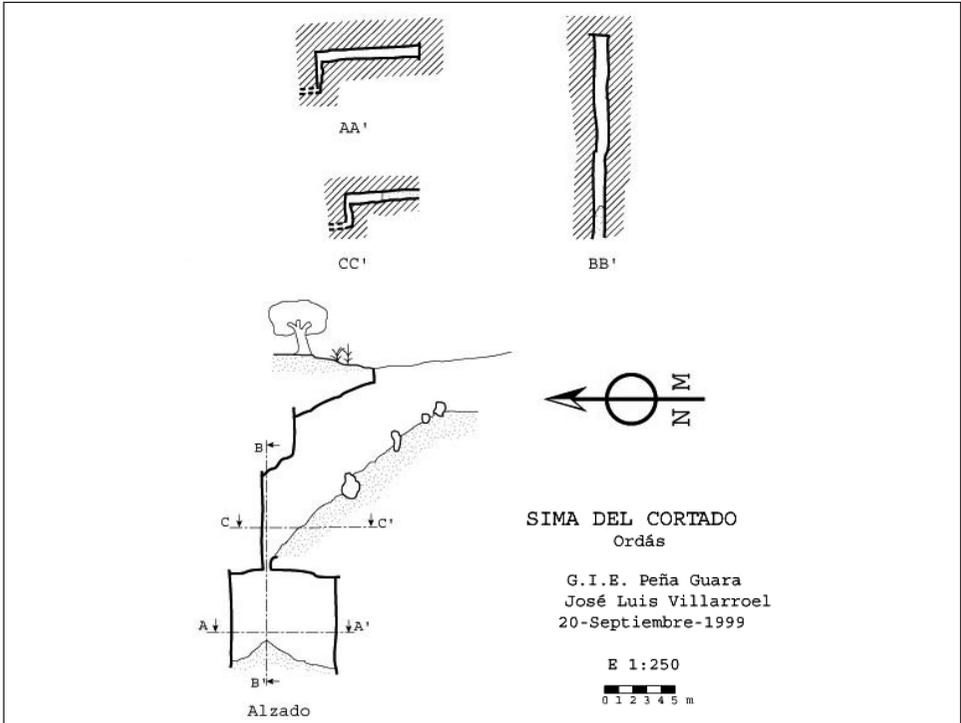


Fig. 9. Topografía. Sima del Cortado o de la Cebra (Ordás, Nueno, Huesca).

La fractura que constituye la cavidad ha seccionado un pequeño conducto freático impenetrable y actualmente fósil y obstruido. Dicho conducto se encuentra a unos 25 metros de la entrada y a escasa altura del suelo. En la zona media de la cavidad se encuentran las paredes recubiertas de colada y pequeñas formaciones cristalinas. El goteo es intenso en esa zona. No se aprecia ningún signo de erosión ni corrosión en ninguna zona de la cavidad (salvo el conducto freático señalado). La génesis de la cavidad es básicamente tectónica.

*Sima del Cortado o de la Cabra*⁶

Pequeña cavidad en el cortado ubicado al norte del castillo de Ordás.

Coordenadas GPS (boca): 712807, 4685272. Huso: 30T.

Coordenadas geográficas: latitud 42° 17' 0" N, longitud 0° 25' 0" W

La cavidad se abre al norte de la conocida ermita de Ordás (Fig. 8), en el borde mismo del acantilado que mira al Isuela, en su orilla izquierda. Para acceder a la cavidad se toma la senda que conduce a la ermita de Ordás. La senda parte de una pequeña pista, ascendiendo por una senda empinada por la partida de Malvachizo, entre antiguos bancales reforestados. Tras pasar junto a una fuente, el camino pierde pendiente, para hacerse prácticamente horizontal. A la vista el castillo de Ordás, parte a la derecha una desviación que lleva en pocos instantes a una caseta circular con el tejado cónico de losas de piedra. Siguiendo el borde del acantilado hacia el norte, se encuentra la sima de la Cabra, a unos 50 metros de la citada caseta. Fue explorada por primera vez por miembros del GIE Peña Guara en 1970, apareciendo un informe en el *Boletín GIE PG* nº 1.

Como otras cavidades de la zona, es una grieta con un desnivel de 22 metros, similar profundidad y un desarrollo de 22,5 metros. La cavidad se abre a favor de una fractura de la roca que disminuye en amplitud conforme se desciende. Presenta dos pisos cuyos suelos están compuestos de fina tierra con algún bloque de gran tamaño. Debido al origen tectónico de la

⁶ El nombre viene de su ubicación y de la presencia, en su interior, de los restos de uno de estos animales.

cavidad, sus paredes son planos casi perfectos verticales. El primer piso lo constituye una rampa de gran inclinación que concluye en un pozo que da acceso al segundo piso que es prácticamente horizontal. No se aprecia ningún signo de erosión ni corrosión.

CONCLUSIONES

Es evidente que existe un diferente comportamiento ante la karstificación entre las calizas del Eoceno y del Muschelkalk, que no ha sido estudiado en detalle.

En el congosto del Isuela existe un conjunto de cavidades de claro tipo tectónico relacionado con procesos de deslizamientos de ladera que afectan a los materiales del Muschelkalk. Aunque los movimientos parecen tener un origen antiguo, pueden seguir activos en las grimas de Santolarieta, dado que se ha detectado en 2007 una cavidad que no se conocía en 2000. Es un tema que debiera controlarse con cierto detalle, por las implicaciones geotécnicas que puede haber en la construcción y mantenimiento de la A-23.

En segundo lugar, todo parece indicar que en el pasado, en el Muschelkalk hubo una débil actividad kárstica, incluida la formación de típicos conductos, actualmente fósiles y cortados por las cuevas tectónicas. Estos están hoy en día inactivos, al igual que otros ejemplos que se han localizado en la zona de Estaña.

AGRADECIMIENTOS

Las grimas de Santolarieta fueron exploradas con la ayuda de V. Viñals, F. Didonna y E. de Celis, y topografiadas en colaboración con M. Biarge y S. Callau. O. Ballarín trabajó en la sima de Ordás. La sima de la Cabra fue reexplorada, reinstalada y topografiada en compañía de S. Callau y J. A. Pradel. También se agradece la colaboración de L. Montes y E. Leo. Han sido de gran utilidad las ortofotos del SITAR, de la Diputación General de Aragón.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSO, I. Jordán de (1878). *Historia de la economía política de Aragón*. Ed. facsímil (1983). Guara. Zaragoza. 487 pp.
- CUCHÍ, J. A.; MILLÁN, H., y POCOVÍ, A. (2003). Quelques informations géologiques sur les eaux thermales en relation avec les calcaires dans le Haut Aragon (Espagne). *10^{ème} journée technique du Comité Français de la AIH. Circulations hydrothermales en terrains calcaires*. Carcasona.
- CUCHÍ, J. A., y SANCHO, C. (1991). *El karst de la provincia de Huesca*. Memoria Ayuda de Investigación del IEA. No publicada. 189 pp.
- GARRIGA, J., y FREIXAS, A. (1973). Nota sobre una “fente de décollement” en el Pirineo de Huesca (Cerler, Benasque). *Actas del III Congreso Nacional de Espeleología*. Madrid.
- GIMENO, Y., y CUCHÍ, J. A. (1996). El karst de la cuenca alta del río Isuela (Prepirineo, Huesca). *Congreso sobre recursos hídricos en regiones kársticas*: 145-156. Vitoria.
- GRUPO DE INVESTIGACIONES ESPELEOLÓGICAS PEÑA GUARA 1972. *Boletín de contribución al catálogo espeleológico de la provincia de Huesca*, 1. Peña Guara. Huesca.
- MALLADA, L. (1878). *Descripción física y geológica de la provincia de Huesca. Memorias de la Comisión del mapa geológico de España*. Imprenta y Fundición de Manuel Tello. Madrid. Ed. facsímil (1990). IEA. Huesca. 439 pp. + 1 mapa.
- MILLÁN, H. (2006). *Estructura y cinemática del frente de cabalgamiento surpirenaico en las Sierras Exteriores aragonesas*. IEA. Huesca. Colección de Estudios Altoaragoneses, 53. 396 pp. + 2 mapas.

EL KARST DE LAS GARGANTAS DE CALCÓN (CASBAS DE HUESCA, HUESCA)

José Luis VILLARROEL^{1,2}

José Antonio CUCHÍ^{1,2}

RESUMEN. — Se presenta una breve descripción sobre el karst de las gargantas de Calcón, situadas en Montidinera, pequeña estribación de la sierra de Guara. Se realizan algunas observaciones de tipo hidráulico e hidroquímico.

ABSTRACT. — A short description on the karst of the Calcón gorge, located at Montidinera, a small range of Sierra of Guara is presented with some remarks on the hydraulics and hydrochemistry of the area.

KEY WORDS. — Scallops, karst, Guara, Aragón (Spain).

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, propiciados por los cíclicos episodios de sequías, se asiste a un creciente interés por los acuíferos de las sierras prepirenaicas del Alto Aragón. En su zona central, entre los ríos Isuela y Vero, se conocen diversos acuíferos kársticos en calizas de la *Fm. Guara*, del Eoceno medio, descritos en SÁNCHEZ (1988) y CUCHÍ (1998). Sus manantiales son

¹ Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A). Edificio Torres Quevedo. C/ María de Luna, 3. E-50071 ZARAGOZA.

² Grupo de Tecnologías en Entornos Hostiles (GTE). Universidad de Zaragoza. jlvilla@unizar.es, cuchi@unizar.es

modestos, con una clara relación lluvia caudal. Solo presentan caudales importantes tras largos periodos de fuertes lluvias, con fuertes estiajes durante los periodos secos.

Los sistemas kársticos del Prepirineo oscense están muy poco estudiados, incluso desde un punto de vista meramente descriptivo. A nivel cuantitativo, existen pocos datos con la excepción del sistema de Fuenmayor, en San Julián de Banzo, del que se dispone de una serie plurianual de varios parámetros, parcialmente publicados en CUCHÍ et alii (2002) y VILLARROEL y CUCHÍ (2002, 2004). A estos hay que añadir el estudio del karst del alto Isuela por GIMENO y CUCHÍ (1996) y los datos de hidroquímica de la sierra de Guara detallados en BUERA et alii (1997). La tabla I presenta datos complementarios de caudales en manantiales y sumideros interesantes en el karst del Prepirineo altoaragonés.

Tabla I. Datos de caudal de puntos de agua kársticos en la sierra de Guara.

<i>Sistema</i>	<i>Caudal (m³/sg)</i>	<i>Fecha</i>	<i>Autores</i>
San Clemente	1,760	5/10/94	GIMENO y CUCHÍ
Fuente Mascún	0,348	26/1/97	GTE
Solencio Bastarás	1,993	26/1/97	GTE
Surgencia Las Almunias	0,082	26/1/97	GTE
Sumidero Mascún	0,062	26/4/97	BUERA et alii
Fuente Mascún	0,344	26/4/97	BUERA et alii
Fuente Lecina (Berrala)	0,646	2/5/99	GTE

Salvo estos y algunos estudios inéditos, hay muy poca información sobre superficies de recarga, características del epikarst y otros aspectos de los sistemas kársticos de esta zona del Prepirineo oscense.

Por otro lado, a pesar de ser objeto de campañas espeleológicas desde hace más de 30 años, el endokarst es uno de los aspectos menos estudiados en Guara. Sin embargo, es evidente su interés dada la información que ofrecen sobre el flujo y almacenamiento de agua subterránea, pasado y actual. La mayoría de las cavidades conocidas en la zona, muchas de ellas reseñadas en los veteranos boletines del Grupo de Investigación Espeleológica de

Peña Guara (GIEPG), son fósiles, con la excepción de algunos tramos de los Solencios de Bastarás, Morrano y Santa Cilia y de los *troppleins* de San Clemente y Balaguer. Además de las cavidades de origen claramente kárstico hay un creciente número de cavidades originadas a partir de fracturas en Loarre, Aniés, Nueno, Santolarieta, San Julián de Banzo y Naval. La mayoría de los manantiales, como Fuenmayor, Mascún, Conciatas o Berrala son impenetrables. La excepción son los *troppleins* y Solencios ya citados.

En la línea de aportar más información, el presente trabajo se centra en algunos rasgos kársticos de Montidinera, y en especial de la cueva de las Gargantas, que se abre al valle del río Calcón.

EL KARST DE MONTIDINERA

Montidinera (726 000, 4 683 000, 1467 m) es una cumbre satélite de la sierra de Guara, situada entre los ríos Guatizalema y Calcón. Tiene forma de triángulo isósceles con un vértice apuntando al norte. Por el este queda separada del pico Fragnetto por el collado del mismo nombre. Por el sur y este limita con el barranco del Huevo y por los cortados de Fabana y la ermita de San Cosme y San Damián. La figura 1 presenta una vista de Montidinera desde el alto de la Carrasca, al sureste, con fácil diferenciación entre los conglomerados meridionales y las calizas de la cima. En los primeros aparecen dos unidades de diferente morfología. Los más elevados, de color más claro, están formados por cantos de caliza local, con una clara fracturación norte-sur. Los inferiores, cortados por la pista al santuario, presentan cantos de origen pirenaico. La imagen muestra también la canal de acceso al pico y el enorme bolo de conglomerado conocido como *el Pito*. La figura 2 muestra una vista aérea de la zona.

Geológicamente la zona tiene alguna complejidad. Gran parte de Montidinera y las gargantas de Calcón están formadas por calizas de la *Fm. Guara* del Eoceno medio. En Las Valles, cabecera del Calcón desde el collado de Petreñales hasta las gargantas, una serie de crestas verticales corresponden a calizas lacustres del Garumniense, en relieve positivo sobre las arcillas rojizas, acompañados de pequeños afloramientos de ofitas, ya cartografiadas por MALLADA (1878). El valle de Fabana presenta materiales de la *Fm. Campodarbe*, del Oligoceno inferior, que se extienden por el

pie de Guara hacia la casa de la Fueva. Al sur y este de las sierras, la caliza de Guara está recubierta discordantemente por diversos edificios conglomeráticos del Oligoceno y Mioceno. En Montidinera, forman los conglomerados de la Predicadera y el Huevo de San Cosme, que se continúan hacia el suroeste por los edificios malliformes de San Cosme y Vadiello.

Como describe MILLÁN (2006), al este de la garganta se reconocen dos escamas bajo el cabalgamiento general de Guara. Una corresponde al sinclinal del Molar y la otra a la lámina de Fabana. La falla de los Castellones, de dirección NNE-SSO separa estas escamas de la zona del anticlinal de Guara, que se sitúa al este de esta cima en dirección norte-sur. Este ha sido excavado por la erosión y forma Las Valles, pasando el eje por el collado de Fragneteto. La garganta de Calcón corta transversalmente el flanco oeste de este anticlinal. Al final de esta, en el contacto con los materiales margosos, las capas de caliza se presentan muy verticales y localmente ligeramente invertidas.

La garganta, muy estrecha en general, se ensancha localmente a favor de estratos más débiles, recubiertos por canchales. Hacia su mitad, en la



Fig. 1. Vista de Montidinera desde el sureste (collado de la Carrasca).



Fig. 2. Vista aérea de la zona de Montidinera.

orilla derecha, a unos 40 metros por encima del cauce y en un estrato duro de potencia decamétrica se abre la cueva de las Gargantas. En la gorga hay otras manifestaciones kársticas como varios manantiales y sumideros, una toba fósil de dimensiones modestas y numerosas pequeñas presas tobáceas actuales. Ya fuera de las gargantas, en la confluencia con la canal que desciende directamente de Guara, se encuentra la cueva de Fabana cuya más reciente topografía se muestra en la figura 3.

En su superficie, Montidinera presenta un exokarst de moderado desarrollo, con la típica dominancia prepirenaica de lapiaces de tipo oqueroso, acompañados por algún modesto *rillenkarren* y pequeños zanjones de tipo estructural, con una dirección genérica noreste-suroeste. Una pequeña ventana, restos de una karstificación antigua, se abre sobre el cortado que domina el collado de Fraginetto pero no se conocen conductos penetrables. Como es habitual en Guara, una parte de la superficie está recubierta por canchales de gelifractos.

LA CUEVA DE LAS GARGANTAS

Localizada por el GIEPG a finales de la década de los sesenta del siglo pasado, la cavidad se abre por dos bocas situadas prácticamente a la misma altura, a unos 40 metros sobre el fondo del valle, en una fractura que continúa en varios abrigos. Las bocas presentan rellenos parciales, con presencia de huesos, mostrando la inferior una sección circular. Tras un tramo corto horizontal se accede a una gran diaclasa arenosa, con algunos espeleotemas y costras colgadas, por la que se desciende hacia dos pozos. Por el principal, tras una sala fósil, se accede a un conducto de presión descendente, de unos 50° de pendiente y unos 8 metros de longitud, que presenta abundantes huellas de corriente. La figura 4 presenta una detallada topografía de esta cavidad, de una dirección general noreste-suroeste paralela a la estratificación de las calizas en la garganta de Calcón.

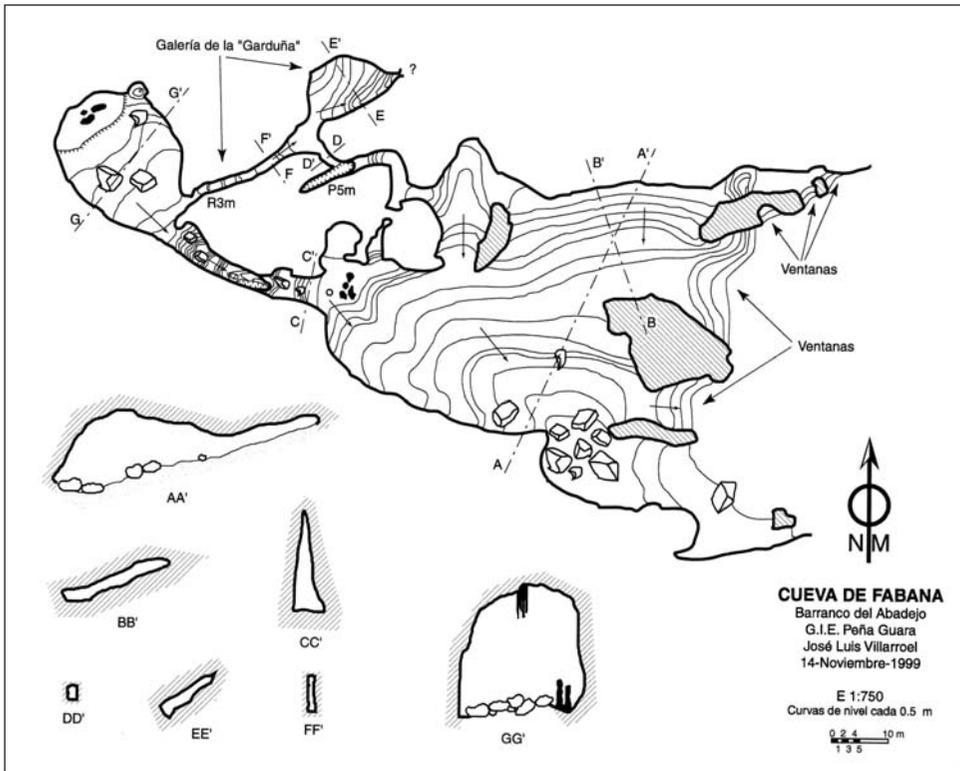


Fig. 3. Topografía de la cueva de Fabana.

ANÁLISIS DE LAS HUELLAS DE CORRIENTE

Las huellas de corriente son concavidades de modesta dimensión, forma asimétrica y normalmente de bordes netos y relativamente afilados. En planta suelen ser ovaliformes con un eje mayor paralelo o perpendicular a la dirección de la corriente. Dentro de una misma huella, la pendiente de aguas arriba es mucho más aguda que en la salida. Se encuentran en las paredes de los conductos de presión y en los estrechamientos de cañones y barrancos. Están siempre relacionados con zonas de frecuente flujo de agua. Cuando este cesa, desaparecen con rapidez. En el exterior por disolución y meteorización.

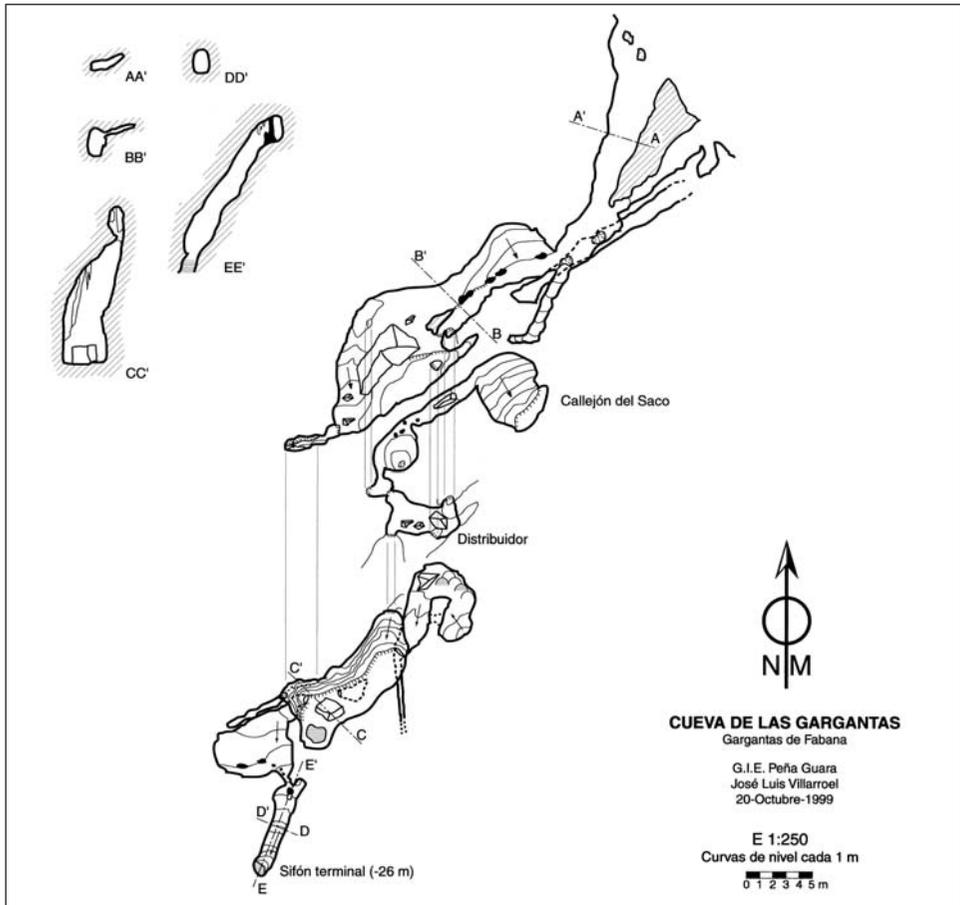


Fig. 4. Topografía de la cueva de las Gargantas.

En el interior de las cuevas desaparecen normalmente por recubrimiento por espeleotemas. Hay que señalar que raramente se observan en el Prepirineo en condiciones “fósiles” en superficie y el caso citado es el único conocido de interior.

En las cavidades activas aparecen agrupadas y pueden llegar a cubrir toda la superficie de un conducto y, en ocasiones, compiten por ocupar la superficie disponible, avanzando unas huellas sobre otras. Se forman por la acción del movimiento de agua sobre las paredes del conducto por el que circula. Su dimensión es inversamente proporcional a la velocidad del agua que las crea. Su origen se relaciona con la formación de pequeños torbellinos, a contracorriente sobre la superficie de la roca, que disuelven la caliza de forma irregular. Para CURL (1974), WHITE (1988), FORD y WILLIAMS (1989) la existencia de una pequeña rugosidad en las paredes provoca la aparición de turbulencias siguiendo el sentido del flujo de la corriente.

Se pueden estimar diversos parámetros hidráulicos de la corriente que crea las huellas a partir del trabajo de CURL (1974). El método implica la medición de la distancia l_i , como muestra la figura 5, para una serie de huellas. L_{32} es la distancia entre dos crestas de roca, en la dirección de la corriente. Posteriormente se calcula la media de Sauter mediante la expresión:

$$L_{32} = \frac{\sum l_i^3}{\sum l_i}$$

A partir de la media de Sauter se calcula el número de Reynolds de la corriente que ha generado las huellas mediante la fórmula empírica:

$$N_R = N_R^* [2.5 \ln(D/L_{32}) - 1] + B_1$$

D , para conductos rectangulares, es la distancia entre paredes. N_R^* y B_1 son valores que se han obtenido empíricamente.

Obtenido el número de Reynolds, se puede calcular la velocidad de flujo y multiplicando este valor por la sección transversal se obtiene el caudal que ha circulado por el conducto generando las huellas.

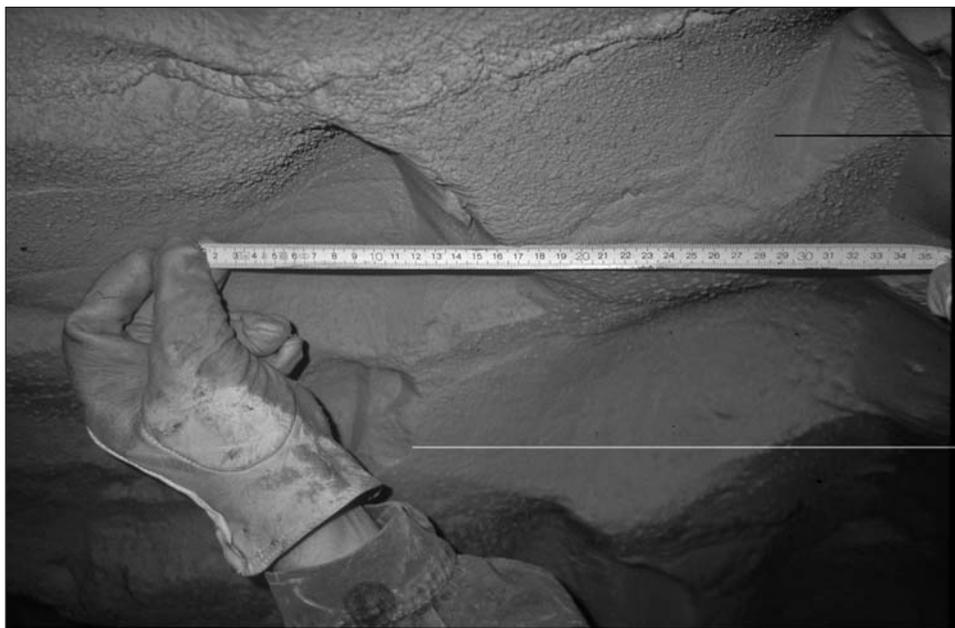


Fig. 5. Medición de l_i en conducto activo en la cueva de las Gargantas.

Aplicando el método a la cueva de las Gargantas, se obtienen los datos de la tabla II.

Tabla II. Parámetros de flujo obtenidos a partir de marcas de corriente en la cueva de las Gargantas.

	<i>Ubicación</i>	L_{32} (cm)	<i>Velocidad</i> (m/sg)	<i>Caudal</i> (m ³ /sg)
<i>Familia grande</i>	Paredes	16,05	0,18	0,44
<i>Familia pequeña</i>	Techo	10,50	0,31	0,84

Los valores obtenidos, bastante modestos, son del mismo orden que presenta WHITE (1988).

HIDROLOGÍA DE LA ZONA

La hidrología de la zona está todavía poco estudiada. Montidinera presenta una pequeña superficie de recarga, en calizas, que no alcanza 1 km² de superficie.

El alto Calcón presenta una cierta complicación, con un sumidero en el inicio de la gorga, un importante manantial a la altura de la cueva de las Gargantas y un nuevo sumidero en la zona de la salida, antes de la ampliación del valle. La surgencia central, cartografiada como Solencio de Fabana por CRUCHAGA (1998), al parecer cortaba en época de lluvias el camino de Aguas a Nocito. Es posible que tenga relación con el sifón interior de la cueva de las Gargantas y con el edificio tobáceo fósil que se encuentra aguas abajo.

Además de estas surgencias, en la ladera sur del macizo aflora la Fuensanta, denominada *Gloriosa* por Mallada, en el acceso al santuario. Es una modesta surgencia que aparece en conglomerados subhorizontales. A menor cota, dentro del santuario, albergado en una amplia balma de los conglomerados, existe un pequeño rezume.

Tabla III. Datos de aguas subterráneas en la zona de Montidinera.

	<i>Muestreo</i>	<i>Temperatura del agua (°C)</i>	<i>CE (μS/cm a 25°C)</i>	<i>pH</i>
Sifón de la cueva	30/8/1998	–	236	7,81
Sifón de la cueva	9/5/1999	9,3 *	305	7,80
Surgencia de Calcón	30/8/1998	–	411	7,54
Surgencia de Calcón	30/5/1999	9,1	484	7,17
Fuensanta	30/5/1999	11,8	434	7,11
Huertos de San Cosme	7/11/1999	–	435	–

* Temperatura del aire de la cavidad, en el conducto: 11,4 °C.

Como muestra la tabla III, los datos de conductividad eléctrica son parecidos entre la surgencia de Calcón y la Fuensanta. Son también similares a los de otros manantiales de Guara como Fuenmayor (VILLARROEL y CUCHÍ, 2002, 2004), Mascún y Berrala (BUERA y cols., 1997). Estos últimos autores observan ligeras diferencias en las aguas de la entrada, surgencia y salida de la garganta de Calcón, con disminución de la concentración iónica, efecto que puede explicarse por dilución, pero también por precipitación del carbonato cálcico que forma las tobas.

Los valores del agua del sifón interior son distintos a los de las surgencias y parece indicar que se trata de infiltración local, desconectada del sistema de manantiales. Por último, hay que señalar que la Fuensanta se utiliza para abastecimiento de la casa de San Cosme y San Damián, así como la fuente ornamental que hay en el patio. Dado su actual estado de ruina, es posible que el agua detectada en noviembre de 1999 sea un desagüe o pérdida de la conducción. En las inmediaciones existe la fuente del Lavador, hoy perdida bajo los aluviones del barranco (F. Bescós, comunicación personal).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A partir de la información existente, claramente insuficiente, solo se pueden realizar algunas hipótesis muy provisionales sobre un modelo conceptual de la hidrología de este karst. Entendido como cuenca hidrológica subterránea, todo indica que se superan las modestas dimensiones de Montidinera, y se captan aguas subterráneas de Arnabón y Pondaliaga, situadas al norte del cauce del Calcón. Esta hipótesis se basa en el hecho de que los caudales que sugieren las huellas de corriente de la cueva no se corresponden con la reducida superficie de recarga en Montidinera si se comparan con datos del relativamente cercano manantial de Fuenmayor, en San Julián de Banzo.

Esto sugiere que, en el pasado, un sistema que recargaba al norte de la garganta descargaba en la Fuensanta, con conductos que en el tramo conglomerático podrían ser paralelos a la red de fracturas, de forma similar a lo que sucede en el tramo final de Solencio de Bastarás, abierto en el mismo tipo de roca.

Puede suponerse que el encajamiento del barranco de las Gargantas cortó a alguno de los conductos mencionados de modo que una parte del agua sigue fluyendo hacia la Fuensanta, quizá complementada por algunas de las pérdidas del inicio de la garganta de Calcón. Otra parte del agua del sistema antiguo aflora en el manantial de la Garganta. En caso de fuertes lluvias, este último actúa como *tropplein* y produce, además, la elevación del nivel de agua en la galería de las huellas de corriente. Estas se pueden considerar como fósiles para las condiciones actuales, aunque la galería sigue inundándose con alguna periodicidad. En aguas bajas, el sifón queda desconectado de la corriente principal.

AGRADECIMIENTOS

Una vez más, tenemos que agradecer la ayuda de Héctor Millán y la colaboración de los compañeros del GIEPG durante diversas visitas a la cueva. También queremos reseñar las indicaciones de Francisco Bescós, de Panzano, y Juan Pedro Gutiérrez, guarda de la finca de San Cosme y San Damián.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUERA, J.; CUCHÍ, J. A., y MANSO, J. A. (1997). Hidroquímica de las aguas occidental y central de la sierra de Guara (Huesca). *Lucas Mallada*, 9: 35-63.
- CRUCHAGA, L. J. (1998). *Mapa excursionista de los Pirineos 1: 40 000. Parque de la Sierra y Cañones de Guara*. Editorial Pirineo. 40 pp., + 1 mapa.
- CUCHÍ, J. A. (1998). Esquema general de las unidades hidrogeológicas en el Alto Aragón. *Lucas Mallada*, 10: 87-105.
- CUCHÍ, J. A.; VILLARROEL, J. L., y MANSO, J. A. (2002). Características del manantial de Fuenmayor (San Julián de Banzo, Huesca). *Geogaceta*, 31: 75-78.
- CURL, R. L. (1974). Deducing flow velocity in cave conduits from scallops. *National Speleol. Soc. Bull.*, 36: 1-5.
- FORD, D., y WILLIAMS, P. (1989). *Karst geomorphology and hydrology*. Unwyn Hyman. 601 pp.
- GIMENO, Y., y CUCHÍ, J. A. (1996). El karst de la cuenca alta del río Isuela (Prepirineo, Huesca). *Congreso sobre recursos hídricos en regiones kársticas*: 145-156. Vitoria.
- MALLADA, L. (1878). *Descripción física y geológica de la provincia de Huesca. Memorias de la Comisión del mapa geológico de España*. Imprenta y Fundición de Manuel Tello. Madrid. Ed. facsímil (1990). IEA. Huesca. 439 pp. + 1 mapa.
- MILLÁN, H. (2006). *Estructura y cinemática del frente de cabalgamiento surpirenaico en las Sierras Exteriores aragonesas*. IEA. Huesca. Colección de Estudios Altoaragoneses, 53. 396 pp. + 2 mapas.
- SÁNCHEZ, J. Á. (1988). *Los recursos hídricos de las sierras de Guara y sus Somontanos*. IEA. Huesca. Colección de Estudios Altoaragoneses, 27. 336 pp.
- WHITE, W. B. (1988). *Geomorphology and hydrology of karst terrains*. Oxford Press. 464 pp.
- VILLARROEL, J. L., y CUCHÍ, J. A. (2002). Análisis de respuesta de Fuenmayor (San Julián de Banzo, Huesca). Primeros resultados. *Geogaceta*, 31: 71-74.
- VILLARROEL, J. L., y CUCHÍ, J. A. (2004). Estudio cualitativo de la respuesta, de mayo de 2002 a abril de 2003, del manantial kárstico de Fuenmayor (San Julián de Banzo, Huesca) a la lluvia y la temperatura atmosférica. *Boletín Geológico y Minero*, 115(2): 237-246.

NOTA

NUEVA CITA DE *NOTERUS CLAVICORNIS* (DE GEER, 1774) (COLEOPTERA, NOTERIDAE) EN LA CUENCA DEL EBRO

Javier OSCOZ¹
Pedro TOMÁS²
Miriam PARDOS³
Concha DURÁN³

La familia Noteridae cuenta en el mundo con 250 especies pertenecientes a catorce géneros y tres subfamilias (NILSSON, 2006). Se trata de una familia de distribución cosmopolita que suele habitar aguas poco profundas estancadas o de poca corriente, estando asociada generalmente a zonas con vegetación acuática. Pueden llegar a vivir en aguas salobres. Tanto los adultos como las larvas se alimentan de restos de animales y vegetales bajo el agua. Originalmente fueron incluidos dentro de la familia Dytiscidae, a los que se asemejan mucho por su cuerpo liso y brillante de forma hidrodinámica, y aunque finalmente se separaron como familias diferentes, se sabe que su posición sistemática es cercana (RIBERA et alii, 2002).

Esta familia se encuentra también en la Península Ibérica, donde se han citado dos géneros con tres especies (RIBERA et alii, 1998; RIBERA, 2002),

¹ Departamento de Zoología y Ecología. Universidad de Navarra. Apdo. 177. E-31080 PAMPLONA (Navarra). joscoz@alumni.unav.es

² Laboratorio de Ensayos Técnicos, S. A. (ENSAYA). Polígono Valdeconsejo, c/ Aneto, parcela 8-A. E-50410 CUARTE DE HUERVA (Zaragoza). biologia@ensaya.es

³ Área de Calidad de las Aguas. Confederación Hidrográfica del Ebro. Paseo de Sagasta, 24-28. E-50071 ZARAGOZA. mpardos@chebro.es, cduran@chebro.es

Canthydrus diophthalmus (Reiche & Saulcy, 1885), *Noterus laevis* Sturm, 1834 y *Noterus clavicornis* (De Geer, 1774). Esta última especie tiene una distribución paleártica, encontrándose en Europa, Asia Central y Occidental (TOLEDO, 2004; NILSSON, 2006). RICO et alii (1990) señalan que en la Península Ibérica se distribuye por Portugal, Palencia, León, Lérica, Barcelona, Valencia, Guipúzcoa y Navarra. En la cuenca del río Ebro esta especie se ha citado en Lérica (FRESNEDA & HERNANDO, 1988), Navarra (VEGA et alii, 1981), Álava (CIRUJANO et alii, 2003), Zaragoza y Huesca (RIBERA et alii, 1996). A pesar de que en los últimos años se ha avanzado en el conocimiento sobre la distribución peninsular de esta especie, y más concretamente en la cuenca del río Ebro, puesto que la mayor parte de las citas que se dan a conocer son datos muy puntuales y dispersos, hoy día todavía su hallazgo se puede considerar de interés para contribuir a aumentar el conocimiento sobre su distribución.

En el curso de un muestreo realizado en mayo de 2008 en el río Arba de Biel se hallaron dos ejemplares de *N. clavicornis*. El tramo muestreado (UTM 30T XM 707750) se encontraba aguas arriba de la localidad de Luna (Zaragoza), a una altitud de 490 m s. n. m. Se trata de un tramo de río localizado aguas abajo de un pequeño azud para captación de aguas, con un sustrato compuesto principalmente por cantos y con una presencia notable de diversas macrófitas (*Rivularia* sp., *Batrachospermum* sp., *Draparnaldia* sp., *Chaetophora* sp., *Zygnema* sp. y *Chara* sp.) tanto en las zonas rápidas como en las zonas más remansadas. El río en este tramo tiene una importante temporalidad, de forma que es habitual que en época estival el cauce quede seco aguas abajo del mencionado azud. Los parámetros medidos en este tramo del río no mostraron la existencia de alteraciones en su calidad ($T^a = 17,03$ °C; pH = 7,91; conductividad = 406 $\mu\text{S}/\text{cm}$; $\text{O}_2 = 9,22$ mg/l [95,5% de saturación]). En consonancia con estos datos, el estado ecológico de las aguas en el tramo según el índice IBMWP (ALBA-TERCEDOR & SÁNCHEZ-ORTEGA, 1988) alcanzó la calificación de “Muy Bueno” (IBMWP = 166). Este buen estado se reflejaba también en que el porcentaje efémeras, plecópteros y tricópteros fuera relativamente alto (% EPT = 49,7), destacando sobre todo las abundancias relativas de taxones como *Ephemerellidae* (23,3%), *Baetidae* (12,8%), *Perlodidae* (6,6%) o *Nemouridae* (3,8%).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBA-TERCEDOR, J., & SÁNCHEZ-ORTEGA, A. (1988). Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnetica*, 4: 51-56.
- CIRUJANO, S.; SORIANO, O.; VELASCO, J.; GARCÍA-VALDECASAS, A.; ÁLVAREZ COBELAS, M., & MORENO, M. (2003). *Estudio de la flora acuática y la fauna bentónica y nectónica del Parque Periférico de Salburua (Vitoria)*. Centro de Estudios Ambientales. Ingurugiro Galetarako Ikastegia. Vitoria-Gasteiz. 72 pp.
- FRESNEDA, J., & HERNANDO, C. (1988). Los Hydradephaga de la Alta Ribagorza y valle de Arán (Coleoptera). *Eos*, 64(2): 17-55.
- NILSSON, A. N. (2006). *A World Catalogue of the Family Noteridae*. Version 16.VII.2006. Disponible en http://www.emg.umu.se/biginst/andersn/WCN/wcn_index.htm (27.7.2008).
- RIBERA, I. (2002). Los coleópteros acuáticos de la Península Ibérica. *Quercus*, 201: 38-42.
- RIBERA, I.; FRESNEDA, J.; AGUILERA, P., & HERNANDO, C. (1996). *Catalogus de la Entomofauna Aragonesa*, 10: 3-22. Insecta: Coleoptera, coleópteros acuáticos (familias 11-26): Gyrinidae, Haliplidae, Noteridae, Hygrobiidae, Dytiscidae, Hydraenidae, Helophoridae, Georissidae, Hydrochidae, Hydrophilidae, Elmidae, Dryopidae, Heteroceridae, Psephenidae, Scirtidae, Chrysomelidae Donaciinae.
- RIBERA, I.; HERNANDO, C., & AGUILERA, P. (1998). An annotated checklist of the Iberian water beetles (Coleoptera). *Zapateri. Revista Aragon. Ent.*, 8: 43-111.
- RIBERA, I.; HOGAN, J. E., & VOGLER, A. P. (2002). Phylogeny of Hydradephagan water beetles inferred from 18S rRNA sequences. *Mol. Phylog. Evol.*, 23(1): 43-62.
- RICO, E.; PÉREZ, L. C., & MONTES, C. (1990). *Lista faunística y bibliográfica de los Hydradephaga (Coleoptera: Haliplidae, Hygrobiidae, Gyrinidae, Noteridae, Dytiscidae) de la Península Ibérica e Islas Baleares*. Asociación Española de Limnología. Madrid. Listas de la flora y fauna de las aguas continentales de la Península Ibérica, nº 7. 216 pp.
- TOLEDO, M. (2004). Diagnosis of *Noterus ponticus* Sharp, 1882 (Coleoptera: Noteridae). *Koleopterologische Rundschau*, 74: 33-43.
- VEGA, A.; HERRERA, L.; BERGERANDI, A., & ARLEGUI, R. (1981). Fauna entomológica de la charca de Muniain (Navarra). *Munibe (Ciencias Naturales)*, 33(1-2): 101-105.

NORMAS DE PUBLICACIÓN

Lucas Mallada publica artículos y notas de investigación inéditos encuadrados en las distintas ramas de la ciencia.

1. Los trabajos, que no podrán sobrepasar las 20 páginas, serán mecanografiados en hojas DIN A-4 (30 líneas de 70 espacios cada una) por una sola cara y a doble espacio. Se presentará el original acompañado de dos copias, con las páginas numeradas.
2. El texto podrá redactarse en castellano, aragonés o inglés.
3. Todos los trabajos serán revisados 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 estudio del tema. Cuando el resultado de dicha revisión lo exija, el original con las pertinentes anotaciones será devuelto al autor, que deberá tenerlas en consideración.
4. Los caracteres en cursiva se utilizarán para los nombres científicos de géneros y de especies y para los neologismos intraducibles; las citas textuales, independientemente de la lengua, se consignarán 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 siempre las notas a pie de página.

5. Cada autor recibirá una prueba de imprenta de su trabajo para su corrección, que devolverá en el plazo de diez días.
6. 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; género y especie irán acompañados de los taxones correspondientes.

Nombre del autor o autores, con su dirección postal y, a ser posible, dirección de correo electrónico.

Resumen en castellano que no supere las doce líneas mecanografiadas y que recoja lo esencial del manuscrito.

Abstract en inglés con las mismas características que el resumen.

Palabras clave en inglés (seis como máximo), 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.

7. *Tablas y figuras.* 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. Las tablas se numerarán I, II, III, etcétera, y deberán estar siempre reseñadas en el texto. Las ilustraciones deberán presentarse separadas del texto e indicando en su dorso el título del trabajo y el nombre del autor o autores escritos a lápiz. Toda clase de ilustraciones (gráficos, figuras o fotografías) entrarán con el nombre de figura y se numerarán 1, 2, 3, etcétera, siendo siempre reseñadas en el texto. Los autores deberán indicar en el original, al margen, en qué parte del texto desean intercalar las figuras y las tablas.