

TERUEL

REVISTA DEL INSTITUTO DE ESTUDIOS TUROLENSES



2010-2011



93 [1]

CIENCIAS

CIENCIAS

TERUEL

REVISTA DEL INSTITUTO DE ESTUDIOS TUROLENSES

DIRECTOR

RAFAEL LORENZO ALQUÉZAR

CONSEJO DE REDACCIÓN

LUIS ALCALÁ MARTÍNEZ

JOSÉ CARRASQUER ZAMORA

CARLOS CASAS NAGORE

MARÍA VICTORIA LOZANO TENA

JOSÉ LUIS SIMÓN GÓMEZ

CONSEJO CIENTÍFICO

**LUIS ALCALÁ MARTÍNEZ, JOSÉ CARRASQUER ZAMORA,
CARLOS CASAS NAGORE, AURORA CRUZADO DÍAZ, CARMEN ESCRICHE JAIME,**

JOSÉ MANUEL LATORRE CIRIA, RAFAEL LORENZO ALQUÉZAR,

MARÍA VICTORIA LOZANO TENA, MONTSERRAT MARTÍNEZ GONZÁLEZ,

JESÚS MARÍA MUNETA MARTÍNEZ DE MORENTIN, CARMEN PEÑA ARDID,

ANTONIO PÉREZ SÁNCHEZ, PEDRO RÚJULA LÓPEZ,

LUIS ANTONIO SÁEZ PÉREZ, PILAR SALOMÓN CHÉLIZ,

CARLOS SANCHO MEIX, ALEXIA SANZ HERNÁNDEZ,

JOSÉ LUIS SIMÓN GÓMEZ, TERESA THOMSON LLISTERRI

EDITOR

**INSTITUTO DE ESTUDIOS TUROLENSES,
DE LA EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE TERUEL**

REDACCIÓN Y ADMINISTRACIÓN

Amantes, 15, 2.º. 44001 Teruel ■ Tel. 978 617860 ■ Fax 978 617861

E-mail: ieturolenses@dpteruel.es

www.ieturolenses.org

DISTRIBUCIÓN

LOGI ORGANIZACIÓN EDITORIAL, SL

México, 5. Polígono Industrial Centrovía. 50196 La Muela (Zaragoza) ■ Tel. 976 144860 ■ Fax 976 149210

E-mail: administracion@logi-libros.com

SUSCRIPCIÓN ANUAL

España, 9 € ■ Extranjero, 18\$ USA

NÚMERO SUELTO

España, 10,80 € (5,40 € cada volumen) ■ Extranjero, 20\$ USA (10\$ USA cada volumen)

PERIODICIDAD

Anual

DISEÑO GRÁFICO

VÍCTOR M. LAHUERTA GUILLÉN

FOTOCOMPOSICIÓN E IMPRESIÓN

INO REPRODUCCIONES, SA

Pol. Malpica, calle E, 32-39 (INBISA II, nave 35). 50016 Zaragoza

DEPÓSITO LEGAL

Z-2.622/92

ISSN

0210-3524

CUBIERTA

**Vegetación de ribera y enclaves singulares
en el Parque Geológico de Aliaga**

TERUEL

REVISTA DEL INSTITUTO DE ESTUDIOS TUROLENSES

93 [I]

TERUEL, 2010-2011



Instituto de Estudios Turoleses



**Diputación
de Teruel**

TERUEL

REVISTA DEL INSTITUTO DE ESTUDIOS TUROLENSES

NÚMERO 93 [VOLUMEN I] ■ TERUEL, 2010-2011 ■ ISSN 0210-3524

La cuenca del río Alfambra: análisis de las variables del medio físico que inciden en su comportamiento hidrológico. *Miguel Sánchez Fabre y Concepción Moya Medina* _____ 7-40

Icnitas de dinosaurios en Aguilar del Alfambra (Teruel, España). *L. Mampel, A. Cobos, L. Alcalá, E. Espílez, R. Royo-Torres, A. González y F. Gascó* _____ 41-54

Estudio de los restos de mamíferos fósiles del Pleistoceno Medio de la Cueva de los Huesos de Obón (Teruel). *Diana Ramón del Río* _____ 55-94

Flora y fauna del Parque Geológico de Aliaga. *Violeta Simón Porcar, José María Torvisco Najarro, Carmen Bartolomé Esteban y José Luis Simón Gómez* _____ 95-152

Caracterización petrofísica y geoquímica de varias rocas turolenses de usos constructivos para la obtención de índices de calidad. *Oscar Buj Fandos, Pedro L. López Julián y Josep Gisbert Aguilar* _____ 153-180

Aplicación de modelos predictivos de distribución a la gestión medioambiental local: las rapaces nocturnas de Mora de Rubielos como caso de estudio. *Demetrio Vidal Agustín* _____ 181-199

**LA CUENCA DEL RÍO ALFAMBRA: ANÁLISIS DE LAS
VARIABLES DEL MEDIO FÍSICO QUE INCIDEN
EN SU COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO**



Miguel Sánchez Fabre y Concepción Moya Medina

LA CUENCA DEL RÍO ALFAMBRA: ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DEL MEDIO FÍSICO QUE INCIDEN EN SU COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO

*Miguel Sánchez Fabre y Concepción Moya Medina**

RESUMEN

Se analiza la influencia que clima, pendiente, litología y vegetación/usuarios del suelo tienen en el comportamiento hidrológico del río Alfambra y sus afluentes. El análisis de diferentes documentos cartográficos, la consulta bibliográfica y el trabajo de campo permiten identificar y concluir qué procesos hidrológicos son los más activos en diversos sectores de la cuenca, como resultado de la distribución territorial de las mencionadas características del medio natural.

Palabras clave: cuenca fluvial, procesos hidrológicos, medio físico, río Alfambra, Cordillera Ibérica, Teruel.

ABSTRACT

Alfambra's catchment: analysis of physical variables that affect the hydrological behavior.

It is studied the influence of climate, slopes, lithology and vegetation/land uses have in the hydrological behaviour of the Alfambra river and its tributaries. The analysis of diverse cartography, bibliographic queries and work field let identify and conclude which are the most active hydrological processes in several subbasins, as a result of the distribution of its named environmental characteristics.

Key words: basin, hydrological processes, environment, Alfambra river, Iberian Chain, Teruel.

* Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, 12. 50009 Zaragoza. msanchez@unizar.es

INTRODUCCIÓN

“Una cuenca hidrográfica o fluvial es un fragmento de la superficie terrestre con unos límites bien definidos (divisoria) que lo separan de las zonas adyacentes, en cuyo interior encontramos una gran cantidad de componentes tanto bióticos como abióticos estrechamente relacionados entre sí; la entrada de agua en la cuenca se produce, de forma natural, exclusivamente a partir de las precipitaciones y esa agua se redistribuye con la intervención de todos los procesos del ciclo hidrológico, buscando un mismo punto de salida o desembocadura a través de la red de drenaje”. Esta definición de cuenca hidrográfica es válida para unidades territoriales de muy diferentes dimensiones, estableciéndose entre ellas una relación de jerarquización en la que las más pequeñas constituyen subcuencas de las mayores.

De los aspectos de una cuenca dignos de análisis, uno de los más relevantes es la relación que se establece entre determinadas características de la cuenca y el funcionamiento hidrológico de sus cursos fluviales, cuyo conjunto integra la denominada red de drenaje. Entre los componentes del medio natural que actúan como factores del comportamiento hidrológico de las cuencas destacan el clima, la topografía, la litología y los usos del suelo.

Además de la influencia que estos componentes del medio natural tienen en el comportamiento hidrológico de una cuenca, hay que tener también muy presente la acción que el hombre puede ejercer sobre dicho comportamiento. La presencia del hombre y de sus diferentes actividades en una cuenca hidrográfica pueden resultar desde prácticamente intrascendentes hasta adquirir una gran notoriedad, modificando completamente el comportamiento natural de los ríos que la atraviesan.

Es evidente que el agua es un recurso necesario para el hombre y que éste no puede ni debe renunciar a usarla en su beneficio. Pero también es indudable que esta agua debe de ser utilizada con absoluta racionalidad e intentando conservar sus ecosistemas asociados.

En la cuenca del Alfambra la presión humana no debería ser, a priori, demasiado alta. No existen grandes poblaciones en su interior, incluso la ciudad de Teruel se asienta aguas abajo de la confluencia del río Alfambra con el Guadalaviar y, por tanto, fuera de sus límites. Quizá las mayores amenazas proceden del ámbito agrario, ganadería y agricultura, donde los cultivos, esencialmente el regadío de la llanura aluvial, suponen el consumo de agua y el uso de fertilizantes y pesticidas.

Así, en un estudio (ESTRELA, 2005) llevado a cabo por la Confederación Hidrográfica del Júcar en aplicación de la Directiva Marco Europea del Agua (CE/2000/60), se señala la posibilidad de impactos sobre el río Alfambra tanto en su tramo alto, que recorre las Serranías de Gúdar, como en el que discurre por la depresión de Alfambra-Teruel. En este último se reconoce la presencia de las citadas presiones y el riesgo de que no puedan cumplirse los niveles de calidad marcados por dicha directiva europea en el horizonte del 2016.

EL ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Alfambra pertenece al ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar (fig. 1). Forma parte de la cuenca del río Turia, cuya extensión es de 6.394 km², pudiendo considerarse como una subcuenca de esta unidad superior. Ocupa 1.398 km², todos ellos en la provincia de Teruel, integrados en la cuenca alta o tramo superior de la del Turia (fig. 2), que en gran medida se identifica con el sector turolense de este importante río mediterráneo, cuyo tramo bajo recorre la provincia de Valencia.

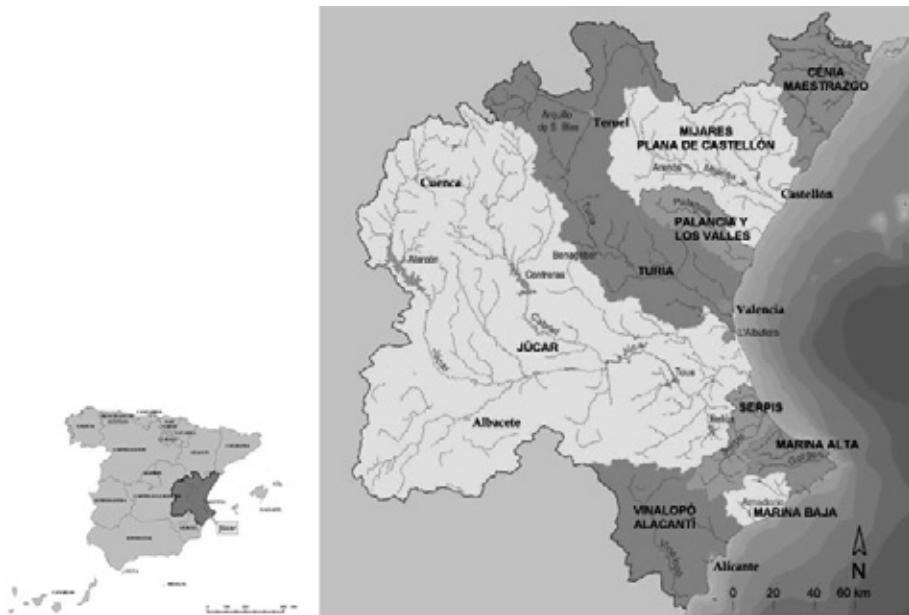


Fig. 1. Situación del ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar en España y ubicación de la cuenca del Turia dentro de él. Fuente: Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ).

Desde un punto de vista morfoestructural la cuenca del Alfambra se relaciona fundamentalmente con el sector occidental de las Serranías de Gúdar y la Depresión intramontañosa de Alfambra-Teruel, ambas pertenecientes al Sistema Ibérico; además, la Sierra Palomera constituye su divisoria occidental cuando recorre la mencionada depresión, separándola de la cuenca del río Jiloca. Las sierras son dominio de las rocas carbonatadas mesozoicas, en tanto que la depresión está rellena de materiales terciarios, cuyo origen se encuentra en los procesos erosivos que arrasaron las cumbres de las serranías generando amplias superficies de erosión, y de depósitos detríticos cuaternarios ligados a la evolución de los valles fluviales.

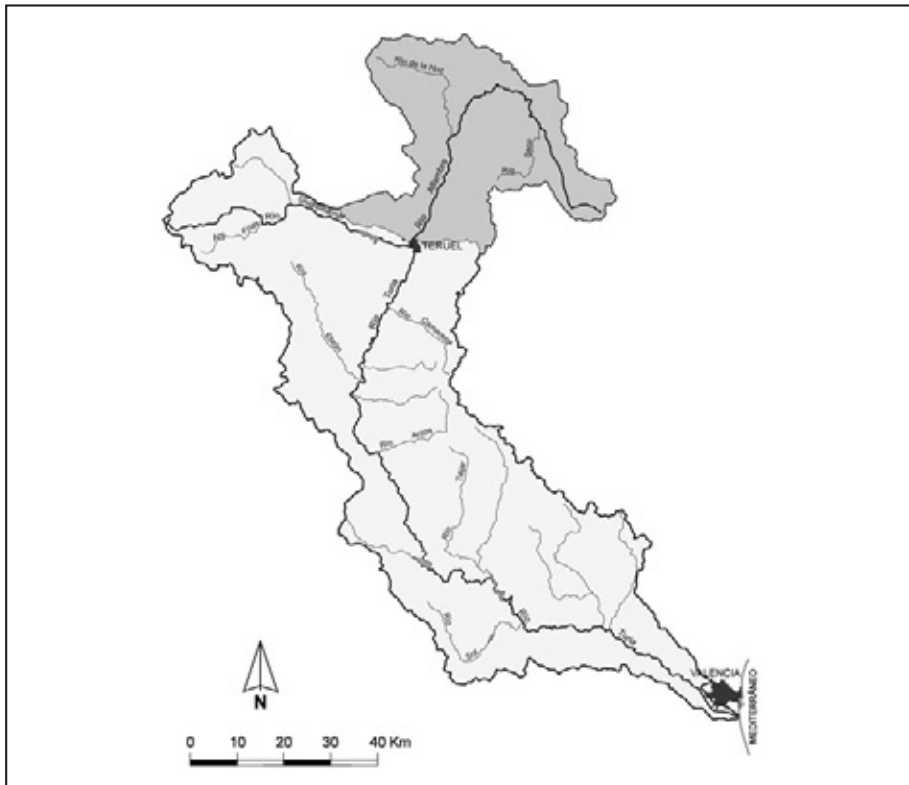


Fig. 2. Cuenca del río Turia y ubicación en ella de la cuenca del río Alfambra.

El curso principal de la cuenca, que le da nombre, nace al pie de Peñarroya (2019 m), pico más elevado de las Serranías de Gúdar. Diferentes surgencias kársticas, como las de los Caños de Gúdar o las asociadas a cursos fluviales como el río Sollavientos o la Rambla de la Umbria, le aportan agua en sus primeros pasos por el sector occidental de las Serranías. Por allí, se ha encajado en las calizas mesozoicas antes de surcar un valle de mayor amplitud entre la zona de El Pobo-Aguilar del Alfambra, donde la excavación alcanza niveles de margas y arcillas secundarias. Entre Aguilar del Alfambra y su salida a la depresión de Alfambra-Teruel en la zona de Villalba Alta, el río esculpe una serie de cañones de gran espectacularidad, a la que contribuyen los meandros que el cauce dibuja en el fondo del valle. Una vez en el interior de la mencionada depresión, el valle del Alfambra se amplía de manera considerable y la actual llanura de inundación aparece flanqueada, en algunos tramos, por antiguos niveles de terrazas fluviales y glacia cuaternarios. Glacia y terrazas que unas veces se adosan a la Sierra del Pobo y otras se muestran encajados en las plataformas estructurales horizontales (muelas) que el propio río y sus afluentes esculpieron, favorecidos por la alternancia

de series blancas carbonatadas resistentes y series rojas detríticas blandas. Sin duda, llama la atención el contraste entre los paisajes de la cuenca del Alfambra en su recorrido por las Serranías de Gúdar y aquellos que se aprecian mientras recorre la depresión de Alfambra-Teruel.

El comportamiento hidrológico del río Alfambra podría definirse perfectamente como el de un río-rambla, ya que alterna periodos de caudales muy bajos, incluso con ausencia esporádica en algunos tramos de caudal superficial, con momentos de caudales abundantes, en los que sus aguas se tornan rojizas ante la enorme cantidad de arcillas que transportan en suspensión. Sin duda, a ese comportamiento contribuye en gran medida que el Alfambra no disponga de afluentes de caudal continuo, de modo que los barrancos y ramblas que, esencialmente en su recorrido por la depresión, le tributan sus aguas sólo pueden hacerlo en cortos periodos de tiempo asociados a precipitaciones abundantes, casi siempre de carácter torrencial y marcado matiz mediterráneo-continental.

Los rasgos más destacados de ese comportamiento hidrológico pueden analizarse con los datos recogidos en dos estaciones de aforo que Confederación Hidrográfica del Júcar tiene instaladas en el cauce del Alfambra. Una, en Villalba Alta, comenzó a funcionar el año hidrológico 1944-1945; otra, en Teruel, que recoge el drenaje de casi toda la cuenca, ofreció los primeros datos en 1911/1912.

Desde un punto de vista cartográfico, la cuenca del río Alfambra queda recogida en 10 hojas del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000, con la disposición que se refleja en el siguiente esquema (fig. 3):

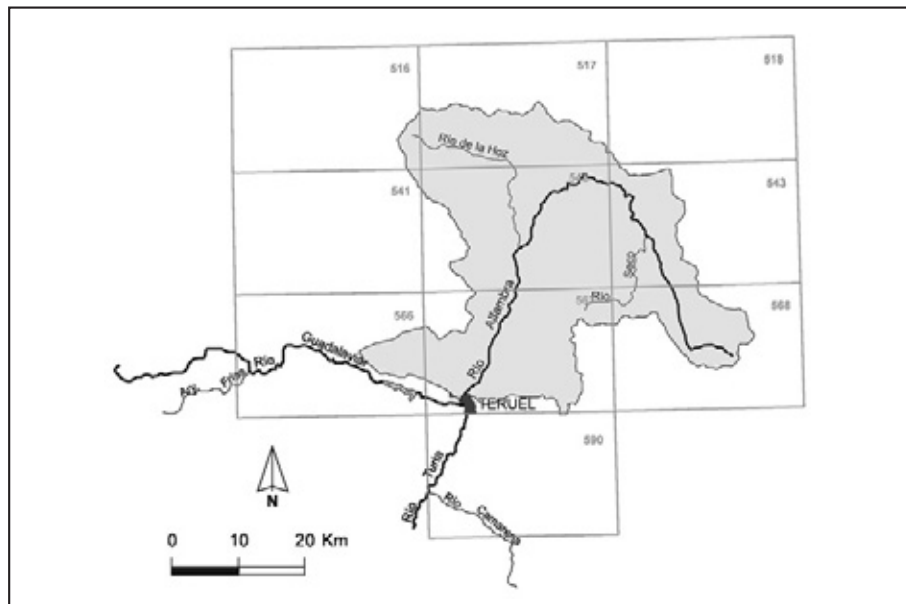


Fig. 3. Distribución de la superficie de la cuenca del río Alfambra en diferentes hojas del Mapa Topográfico Nacional, escala 1:50.000.

OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

Este artículo es una síntesis del amplio informe (*La cuenca del río Alfambra: análisis de las variables del medio físico e integración en un Sistema de Información Geográfica*) depositado en el Instituto de Estudios Turoleses, resultado de un trabajo de investigación para el que se obtuvo una ayuda del citado Instituto. En ese estudio se analizaron y cartografiaron los principales componentes del medio natural de la cuenca del río Alfambra que condicionan el comportamiento de este río y sus afluentes. Se analizaron por tanto los rasgos climáticos, topográficos, litológicos y de usos del suelo, apoyados en la realización de una cartografía con la distribución de estos componentes en el conjunto de la cuenca. Los objetivos que se pretenden, en el global del trabajo de investigación, ya que en el presente artículo sólo se atiende al primero y principal de ellos, son los siguientes:

- El objetivo principal es analizar los componentes del medio natural de la cuenca del río Alfambra que actúan como principales factores de su comportamiento hidrológico.
- Cartografiar esos componentes. Presentar una cartografía en soporte papel sobre esos componentes del medio natural-factores hidrológicos. Esta cartografía, por cuestiones de edición, no aparece plasmada en el artículo.
- Recoger esa cartografía en un soporte digital para que pueda ser utilizada en posteriores trabajos orientados a un análisis combinado de elementos que permita generar nueva cartografía y un mayor conocimiento de la zona. Esta cartografía digital se ha elaborado en un SIG de amplia implantación.
- Presentar, en anexos, datos climáticos e hidrológicos que pueden servir de punto de partida, o de apoyo, para posteriores trabajos. Recogidos en el informe, tampoco pueden ser incluidos en la edición del presente artículo.

La suma de los dos últimos objetivos implica el inicio de la creación de una base de datos para el espacio específico de la cuenca del río Alfambra.

Nuestro conocimiento previo de la zona, ya que en ella hemos realizado diferentes trabajos especialmente de índole geomorfológico, nos ha servido como punto de partida para apreciar el interés del tema propuesto y definir los objetivos del trabajo. Su realización y búsqueda de los objetivos expuestos ha requerido de tareas muy diversas, así como el empleo de una amplia gama de técnicas:

- Recopilación y estudio de la abundante bibliografía referida a alguno de los diferentes componentes del medio natural que se necesitaban analizar.
- Recoger y analizar la cartografía existente, tanto en soporte papel como digital, relativa a esos diferentes componentes del medio natural que actúan como factores del comportamiento hidrológico. Incluye las hojas indicadas en la figura 3 de los siguientes mapas:
 - Mapa Topográfico Nacional escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional y el Mapa General escala 1:50.000, serie L, del Servicio Geográfico del Ejército. Soporte papel.

- Mapa Geológico Nacional escala 1:50.000, serie magna, del Instituto Geológico y Minero de España, y el Mapa Geológico Nacional escala 1:200.000, 1ª serie y serie magna. Soporte papel y digital.
- Mapa de Cultivos y Aprovechamientos, escala 1:50.000 y el mapa provincial de Teruel, escala 1:200.000 del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Soporte papel.
- Mapa Topográfico Nacional, escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Nacional, incluyendo la cobertura completa: curvas de nivel, red hidrográfica, vías de comunicación, toponimia, etc. Soporte digital.
- Mapa Corine Land Cover de cubierta vegetal y usos del suelo, de escala 1:100.000. Soporte digital.
- Introducción de la cartografía digital en un Proyecto del Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcView. Fue este el elegido por tratarse del SIG de mayor difusión en los estudios de carácter ambiental y territorial.
- Análisis exhaustivo de toda la cartografía recopilada para definir nuevas leyendas con las que elaborar nuevos mapas orientados hacia nuestro objetivo principal: analizar la incidencia de algunos componentes del medio natural sobre el funcionamiento hidrológico de la cuenca del Alfambra. A través del SIG ArcView, se elaboró y diseñó esa nueva cartografía: mapa de pendientes, mapa de la red hidrográfica, mapa litológico y mapa de usos del suelo.
- Entre las múltiples capacidades de los Sistemas de Información Geográfica se encuentra la de poder calcular el reparto superficial de los elementos recogidos en los diferentes epígrafes de la leyenda de los mapas. Se ha realizado esta tarea cuyos resultados sin duda ayudan al análisis de los principales rasgos de la cuenca del río Alfambra.
- Como en cualquier estudio de carácter territorial, se ha llevado a cabo un trabajo de campo, en este caso dirigido principalmente a constatar en el terreno la información que la cartografía ofrecía.
- El análisis conjunto de la bibliografía y cartografía existentes y de la nueva información y cartografía generadas, permite establecer una serie de conclusiones del trabajo.
- Finalmente, se creó un anexo de datos hidrológicos a partir del Anuario de Aforos Digital 2005-2006. Como se ha indicado, este anexo del Informe del proyecto de investigación no se incluye en esta publicación. Incluye los datos de las dos estaciones de aforo del río Alfambra: la 8028 ubicada en Villalba Alta y la 8027 en Teruel.

ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DEL MEDIO FÍSICO

En la cuenca del río Alfambra, tal como sucede de manera genérica en la inmensa mayoría de las cuencas fluviales, una serie de componentes de su medio natural actúan como factores determinantes del comportamiento hidrológico que presentan tanto el río Alfambra como sus afluentes.

La impronta que en el paisaje tiene una litología de colores contrastados, llama inmediatamente la atención sobre la importancia que el tipo de rocas aflorantes puede tener en el funcionamiento de los procesos del ciclo del agua.

La presencia de varios escalones topográficos entre el valle actual del Alfambra y la divisoria de la cuenca, formando amplios espacios llanos enlazados por sectores de pendientes más acusadas, se antoja también a priori como un elemento que debe interactuar con el discurrir de las aguas.

Los cultivos ocupan zonas amplias, tanto el regadío de la llanura de inundación del Alfambra como los campos de secano en el interior de la depresión de Alfambra-Teruel o en los sectores de El Pobo-Aguilar del Alfambra, contrastando con la vegetación natural, habitualmente de escaso porte y densidad, que cubre la superficie perteneciente a las montañas que encierran la cuenca.

También el trazado de la red fluvial, un buen número de cuyos cursos aparecen habitualmente secos, permite aventurar hipótesis sobre el balance hídrico de la zona o sobre la torrencialidad que pueda definir el flujo de agua por sus cauces. Ello lleva a preguntarse sobre el clima de la zona, especialmente sobre la cantidad y el reparto de precipitaciones o, lo que sería lo mismo, el volumen de agua que entra en la cuenca y su ritmo temporal.

Se trata pues, ahora, de analizar con detalle cada uno de estos componentes del medio natural y detectar cuál es su incidencia en el reparto del agua en el territorio perteneciente a la cuenca del río Alfambra.

CLIMA

Se dispone de los datos procedentes de cinco observatorios de la Agencia Estatal de Meteorología, instalados dentro de la cuenca del Alfambra. Todos ofrecen registros de precipitación, pero sólo uno aporta datos completos (temperatura, precipitación, viento, presión atmosférica, etc.). Son, también, de gran ayuda los trabajos de PEÑA, CUADRAT y SÁNCHEZ FABRE (2002) y el *Atlas climático de Aragón* (CUADRAT, SAZ y VICENTE, 2007).

Precipitaciones

Las precipitaciones son, sin duda, el componente que mayor importancia tiene en el comportamiento de los procesos hidrológicos y la circulación de agua por los cursos fluviales. En el caso del río Alfambra estas precipitaciones son la única vía de entrada de agua en la cuenca, aunque la disponibilidad de agua con respecto a las precipitaciones pudiera estar algo modificada por el tránsito de agua subterránea, cuyo volumen no está cuantificado.

Las precipitaciones totales anuales registradas en una estrecha franja de la divisoria septentrional y oriental de la cuenca superan los 500 mm y pueden llegar hasta 700. Ahora bien, en la mayor parte de la cuenca del Alfambra el total de precipitación alcanzado varía entre 400 y 500 mm, cifras bajas teniendo en cuenta que casi toda la superficie se encuentra por encima de los 900-1.000 metros. Así lo ratifican los datos puntuales tomados en Ababuj (477 mm para la serie 1957-2002), Ar-

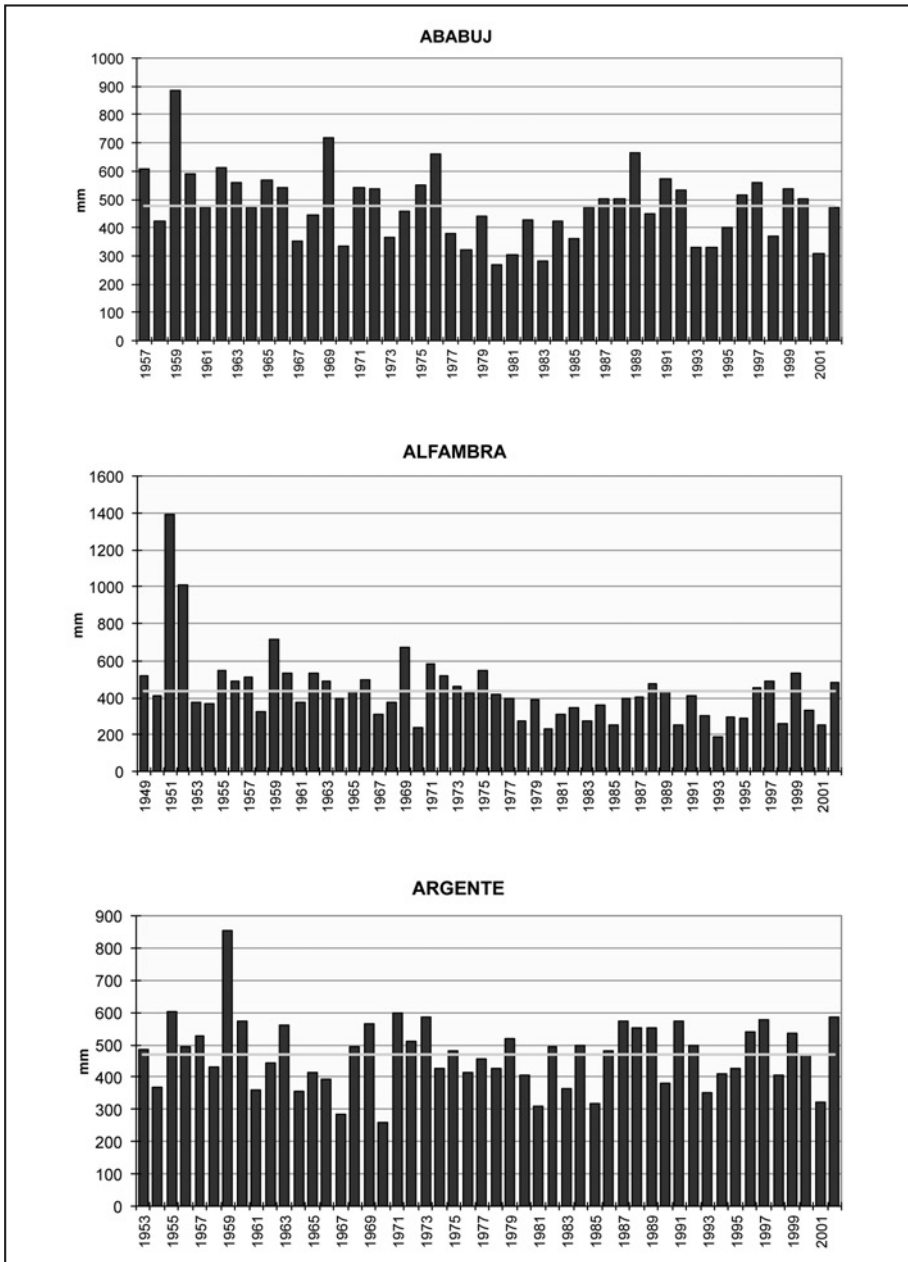


Fig. 4. Variación de las precipitaciones anuales en varios observatorios meteorológicos de la cuenca del Alfambra. Fuente: *Atlas climático de Aragón*. Elaboración propia.

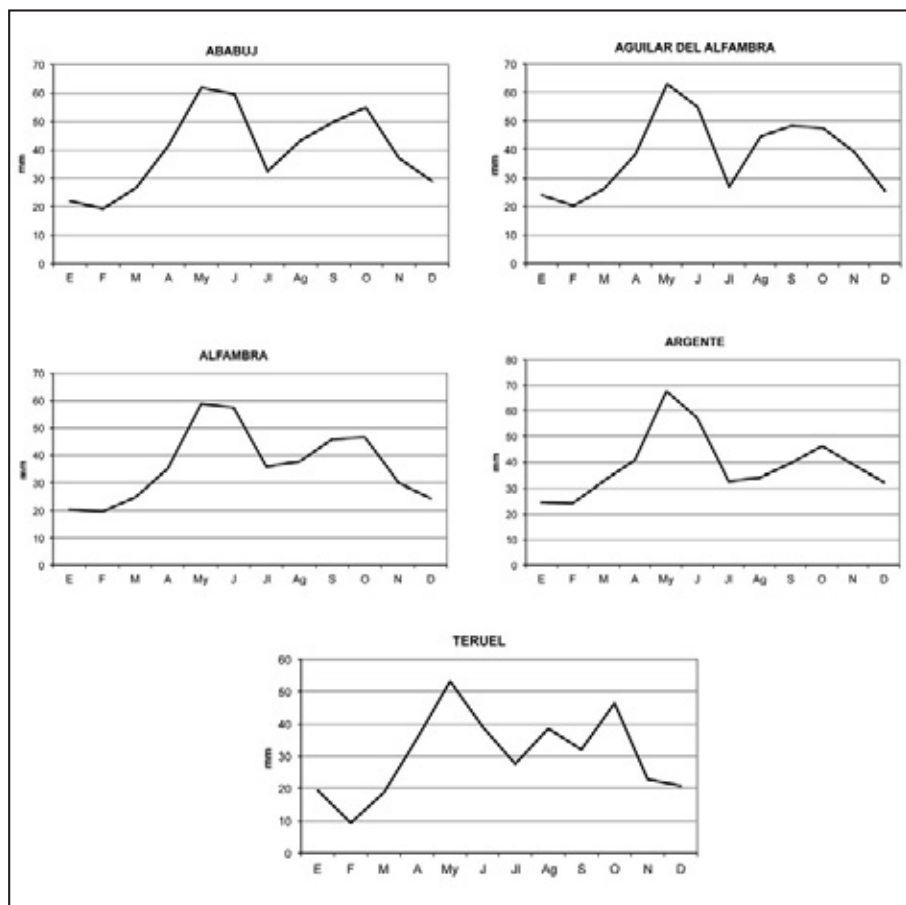


Fig. 5. Reparto mensual de las precipitaciones en los observatorios de la cuenca del río Alfambra. Fuente: *Atlas climático de Aragón*. Elaboración propia.

gente (470 mm, 1953-2002), Aguilar del Alfambra (459 mm, 1982-2002), Alfambra (436 mm, 1949-2002) y Teruel (363 mm, 1987-2002, si bien utilizando otras series más largas SÁNCHEZ FABRE (1985) obtiene valores entre 384 y 415 mm). El patrón que se observa con claridad es una progresiva disminución de las precipitaciones, nunca con valores muy elevados, desde la divisoria hacia el interior, registrándose la menor cantidad de precipitación en el sector de la cuenca que se identifica con la depresión de Alfambra-Teruel.

La existencia de extensas series de datos en algunos observatorios permite constatar la variabilidad que esas cifras de precipitación total anual pueden ofrecer: Ababuj, mayor registro en 1959

con 887 mm y menor con 270 mm en 1980; Aguilar del Alfambra, 609 mm en 1999 y 316 mm en 1998; Alfambra, 715 mm durante 1959 frente a 188 mm en 1993 (existe un registro en 1951 de 1.393 mm, al que sólo se aproxima el de 1952); Argente, 854 mm (1959) y 258 mm (1970) (fig. 4).

Las precipitaciones, casi siempre de forma líquida, son esencialmente equinocciales, algo más numerosas en primavera, aunque también en verano las tormentas pueden aportar cantidades destacables. El invierno es la estación más seca. Así se constata en las gráficas de reparto mensual de las precipitaciones de la figura 5.

El número de días con precipitación al año está entre 50 y 60. En casi todos ellos es en forma de lluvia, si bien el granizo y la nieve suelen hacer acto de presencia en algún momento en diferentes sectores de la cuenca casi todos los años, más reiteradamente en el tramo alto. Esa nieve, más abundante en las sierras de las divisorias oriental y septentrional, tiene cierta probabilidad, aunque baja, de quedar acumulada en los meses de enero y marzo. Generalmente, en los 10 días al año con mayor volumen de precipitación se acumula algo más del 40% del total de las precipitaciones anuales.

CUADRAT, SAZ y VICENTE (2007), a partir de la serie de datos de 1950-2002, han indicado y cartografiado la evolución en Aragón, durante la segunda mitad del siglo XX, reflejándose un progresivo descenso de los registros totales de precipitación anual en la cuenca del Alfambra (entre 12 y 22 mm por década), especialmente sumado en invierno y verano.

Temperaturas

Las temperaturas, sin tener una relación tan directa con la disponibilidad de agua, afectan en la funcionalidad de varios procesos del ciclo hidrológico, como la evapotranspiración y la infiltración.

En la cuenca del Alfambra la temperatura media anual oscila entre 8 y 12 °C. Los valores más bajos corresponden a las divisorias montañosas norte y este, así como al tramo alto de la cuenca, en tanto que son más altos en el sector de la depresión de Alfambra-Teruel, incrementándose a medida que se discurre hacia la desembocadura. CUADRAT, SAZ y VICENTE (2007) apuntan una tendencia a incrementarse estas temperaturas entre 0,1 y 0,2 °C cada década.

Las temperaturas medias invernales en casi toda la extensión de la cuenca están entre 2 y 4 °C, las medias otoñales entre 10 y 12 °C y las estivales entre 18 y 20 °C. Se observan valores un par de grados más bajos en la cabecera, especialmente en verano. La evolución mensual de estas temperaturas se aprecia en el gráfico de la figura 6, correspondiente al observatorio de Teruel. En él queda reflejada una considerable oscilación térmica anual (18 °C), que aún se acentúa al considerar datos diarios de diferentes estaciones (Teruel: 39 °C el 29 de julio de 1981; -20 °C en febrero de 1956 y enero de 1985).

Anualmente en la cuenca del Alfambra se registran entre 50 y casi 100 días de helada, incrementándose su número progresivamente de este a oeste al acentuarse la continentalidad.

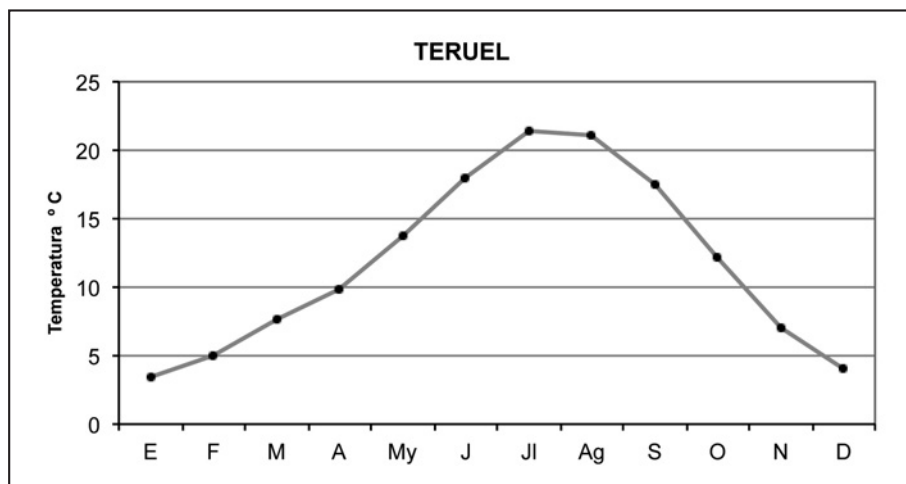


Fig. 6. Curva de evolución mensual de las temperaturas en Teruel. Fuente: *Atlas climático de Aragón*. Elaboración propia.

Balance hídrico

Se ha comentado ya tanto que las precipitaciones caídas sobre la cuenca no son abundantes, como que durante la época estival las temperaturas, sobre todo en las horas centrales del día, alcanzan valores elevados. En consecuencia cabe plantearse cómo queda la disponibilidad de agua en la cuenca para engrosar el caudal de sus ríos, es decir, qué signo presenta el balance hídrico.

Si se analiza la cartografía del reparto de la evapotranspiración potencial recogida en el *Atlas climático de Aragón*, se aprecia que en la cuenca del Alfambra se superan los 1.250 mm anuales en el eje de la depresión Alfambra-Teruel y se llega casi a 1.000 mm en las sierras que enmarcan la cabecera del río Alfambra. Estos valores superan muy ampliamente los de precipitación total anual registrados en la cuenca.

Estacionalmente la evapotranspiración potencial ronda en verano los 500 mm, en primavera los 250 mm y en otoño los 200 mm. Como es lógico la cifra más baja corresponde a invierno, en torno a 100 mm.

Comparando los datos de precipitaciones registradas en la cuenca con los de evapotranspiración potencial, el resultado es evidente: la cuenca del Alfambra es claramente deficitaria en agua, tiene un balance hídrico de signo negativo. El déficit en casi todo el recinto de la cuenca es superior a 500 mm, llegando puntualmente a los 800 mm. El estío es la época en la que se suma un buen porcentaje de ese déficit, más de 400 mm en la mayor parte de la cuenca como consecuencia de las elevadas temperaturas. Aunque primavera y otoño sean las temporadas más lluviosas en la zona, no

se alcanzan cantidades de precipitación suficientes para cambiar el signo negativo del balance hídrico. Sólo en invierno, debido a las bajas temperaturas, el balance hídrico está equilibrado, al menos en una parte de la cuenca, dándose en otros sectores un ligero déficit.

A la vista de estos resultados, el clima de la cuenca del Alfambra queda definido como un clima submediterráneo continental frío, con un carácter semiárido que constituye desde el punto de vista hidrológico su rasgo esencial. Así, desde esa perspectiva hidrológica este clima supone escasa presencia de agua, no sólo por no disponer de una entrada especialmente cuantiosa de precipitaciones sino también, unido a ello, por existir una fuerte evapotranspiración que consume una buena parte de esos recursos hídricos introducidos en la cuenca.

PENDIENTES

La cuenca del río Alfambra forma parte de la Cordillera Ibérica, por lo que su altitud es considerable en toda su extensión, superándose los 1.500 m e incluso los 1.700 m en la zona de cabecera (Peñarroya, 2.019 m) y quedando ligeramente por debajo de los 1.000 m exclusivamente un sector muy reducido de la llanura de inundación del Alfambra, al noroeste de Teruel, y otro en la zona de confluencia del Alfambra con el Guadalaviar. Las mayores diferencias vienen marcadas por la dualidad entre su recorrido en el tramo alto, por las Serranías de Gúdar, y el que realiza, en su tramo bajo, por el interior de la depresión intramontañosa de Alfambra-Teruel, casi toda dispuesta entre 1.000 y 1.200 m. La Sierra de Lidón o la de la Costera, que intervienen en la divisoria septentrional de la cuenca, y la Sierra Palomera, que constituye su divisoria oriental, aunque marcan claramente la divisoria topográfica no aparecen muy elevadas sobre el interior de la depresión.

El rasgo topográfico con mayor incidencia en el comportamiento hidrológico son las pendientes, que contribuyen a determinar cuál es el proceso hidrológico que acapara el mayor volumen del agua que entra en la cuenca y llega hasta el suelo.

Por ello resulta de gran interés establecer la distribución de los valores de pendiente en la zona de estudio. No hace falta definir valores de pendiente con gran detalle, sino determinar sectores con pendientes altas o pendientes bajas para deducir cuáles serán los procesos hidrológicos dominantes en ellos. El mejor modo para conocer esa distribución es elaborar un mapa de pendientes, tarea que se ha acometido para la cuenca del río Alfambra, aunque como el resto de la cartografía no haya sido posible incluirlo en este artículo por las razones ya expuestas. El punto de partida ha sido el Mapa Topográfico Nacional, a escala 1:25.000, del Instituto Geográfico Nacional (IGN), en soporte digital. Introducidas las hojas correspondientes en ArcView, se han generado diferentes documentos (*features*) con los distintos datos existentes en el mapa (red hidrográfica, curvas de nivel, núcleos de población...).

A partir del documento que recoge las curvas de nivel, ArcView permite construir un modelo digital del terreno y desde él, a través de la orden "*Map calculator*", se ha elaborado el citado mapa de pendientes. Se ha optado por un mapa con una leyenda muy sencilla que diferencia únicamente tres intervalos de pendiente: inferior a 5°, entre 5° y 25°, más de 25°. El primer intervalo ayuda a

delimitar zonas llanas o con pendientes muy suaves, el segundo zonas con valores intermedios de pendiente y el tercero zonas con una fuerte inclinación.

Trasladado lo anterior a sus efectos hidrológicos, se puede decir que en la zona llana o de pendientes muy suaves el proceso dominante es la infiltración, que alimentará el flujo de agua subsuperficial y subterráneo; en la zona de pendientes medias este proceso compartirá protagonismo con la escorrentía superficial y, en la zona de pendientes fuertes, las láminas de agua discurrirán con gran velocidad alimentando la escorrentía superficial para llegar hasta los cauces fluviales.

La tabla 1 expresa numéricamente lo que se visualiza muy claramente en el mapa de pendientes: en la cuenca del Alfambra hay amplias zonas con pendientes suaves y medias. Algo más de la mitad de su territorio es llano o posee pendientes suaves y más del 40% presenta lo que hemos denominado pendientes medias.

TABLA 1

Distribución de los intervalos de pendiente en la cuenca del Alfambra

PENDIENTE	km ²	%
< 5°	748,11	53,51
5 - 25°	593,33	42,44
> 25°	56,55	4,04
	1.398	99,99

Entre las amplias zonas llanas o con pendientes muy suaves se pueden destacar la llanura aluvial del río Alfambra, el área de Alfambra-Escorihuela, el entorno de Perales del Alfambra y los extensos Llanos de Visiedo, el área al noroeste de Teruel que se identifica con una parte del glacis de Gea de Albarracín, el entorno de El Pobo, y una franja de terreno que se prolonga tanto al norte como al sur de Aguilar del Alfambra.

Como sectores donde predominan las pendientes de tipo medio merecen destacarse una franja interna que recorre la divisoria de la cuenca, la zona de cabecera, la Sierra del Pobo y un amplio sector dispuesto a ambos márgenes de la llanura aluvial del río Alfambra desde la Muela de Alfambra, al sur de la población de ese mismo nombre, hasta Cerro Gordo-Los Baños por la orilla derecha y Teruel por la izquierda.

Los puntos con pendientes elevadas se disponen dispersos en el mapa, como manchas que ocupan individualmente muy poca superficie. Llama la atención su presencia en algunos cañones del tramo de cabecera de la cuenca, sobre todo correspondientes a algunos afluentes. También en los cañones del área de Galve: Los Alcamines, Hoz de los Ríos Altos y Hoz de los Ríos Bajos o de las Calderetas.

LITOLOGÍA

El tipo de rocas que tapizan una cuenca determina la cantidad de agua que circula por su superficie o por el subsuelo. Donde aparezcan rocas de gran permeabilidad, acuíferos con capacidad de absorber agua y de que ésta se movilice por su interior, una porción importante del agua presente en la cuenca realizará una parte o la totalidad de su recorrido de forma subterránea. Por el contrario, donde afloren rocas impermeables tanto la infiltración como la percolación estarán muy dificultadas y casi la totalidad del agua se movilizará sobre la superficie de suelo y rocas.

Resulta imprescindible por tanto conocer los rasgos litológicos de una cuenca para saber su respuesta hidrológica. Para acometer este conocimiento en la cuenca del Alfambra se ha empleado, de nuevo, la cartografía. Se parte del Mapa Geológico de España, serie Magna, a escala 1:50.000, editado por el Instituto Geológico y Minero de España tanto en soporte convencional (papel) como en soporte digital. La edición en soporte digital presenta un formato directamente compatible con ArcView, de modo que las hojas correspondientes del mapa (fig. 3) son introducidas en el SIG.

A continuación, ante el elevado número de formaciones aflorantes que llevan a una excesiva compartimentación del territorio no acorde a nuestros objetivos, se ha acometido una reclasificación de esas leyendas intentando agrupar esas formaciones en lo que hemos denominado unidades, es decir, grupos de formaciones cuya similar composición litológica e idéntica cronología les confiere una respuesta homogénea a los procesos hidrológicos. Básicamente se han reunido en cada una de las once unidades aquellas formaciones que tienen una composición litológica similar, un mismo grado de compactación, dada su cronología, y una respuesta idéntica a los procesos tectónicos.

A partir de esta nueva leyenda se ha elaborado el mapa litológico o mapa de unidades litológicas de la cuenca del río Alfambra, que nos permite analizar cuáles son los principales rasgos litológicos de la cuenca del Alfambra desde una perspectiva hidrológica. En una visión general observamos que en ella están representadas la mayoría de las series que integran la columna estratigráfica desde la base de la Era Secundaria hasta el Cuaternario. En tan largo periodo de tiempo geológico resulta lógico que se depositaran una gran variedad de materiales, todos ellos rocas sedimentarias, entre los que se aprecia un claro dominio de series detríticas y series carbonatadas.

Ocupan amplias superficies los materiales mesozoicos, principalmente jurásicos y cretácicos, que en conjunto constituyen series carbonatadas, en las que se intercalan niveles de areniscas y arcillas. Esas series carbonatadas presentan una elevada porosidad y permeabilidad, favorable a la infiltración y percolación del agua procedente de las precipitaciones y, por tanto, a un incremento, incluso pudiera ser un dominio, del flujo subterráneo. Estas unidades litológicas afloran en las Serranías de Gúdar-Maestrazgo y, por tanto, tapizan el sector oriental de la cuenca del Alfambra, apareciendo también al este (Sierra Palomera) y en la divisoria septentrional, desde donde se prolongan hacia el sur por el valle del río Seco. La principal de estas unidades es la de calizas mesozoicas, que ocupa en torno a 385 km², lo que supone más de una cuarta parte de la cuenca del Alfambra (tabla 2).



Foto 1. Vista general de la Sierra del Pobo y los niveles de terrazas del río Alfambra al este de la población de Alfambra.



Foto 2. Panorámica general de la depresión de Alfambra-Teruel en el sector de Villalba Baja, desde la Sierra del Pobo.

Una unidad de conglomerados, areniscas y arcillas terciarias aparece en gran parte del sector del interior de la depresión de Alfambra-Teruel, en los Llanos de Visiedo y también en extensas manchas en la zona de El Pobo y al sur de Galve. Este conjunto de materiales detríticos resultan, a priori, más proclives a la circulación superficial del agua, mediante la escorrentía superficial; no obstante, la escasa compacidad que presentan algunos de sus niveles, dejando huecos entre los granos y cantos, debe permitir cierta infiltración hasta que el subsuelo quede saturado o las arcillas, con su cambio de volumen en contacto con el agua, cierren las pequeñas vías de infiltración (poros). De las once unidades litológicas diferenciadas, ésta es la que ocupa mayor extensión en la cuenca del Alfambra, más de 400 km², lo que supone casi el 30% de su superficie (tabla 2). No es, por tanto, de extrañar la impronta que estos materiales detríticos de llamativos tonos rojos tienen en el paisaje.

TABLA 2

Superficie de afloramiento de las unidades litológicas

UNIDAD LITOLÓGICA	SUPERFICIE (km ²)	% DE SUPERFICIE
Areniscas del Bunt	14,262	1,02
Dolomías y carniolas triásicas	9,986	0,71
Arcillas y yesos del Keuper	17,213	1,23
Calizas mesozoicas	385,691	27,59
Margas mesozoicas	106,035	7,58
Areniscas y arcillas mesozoicas	160,885	11,51
Conglomerados, areniscas y arcillas terciarias	408,754	29,24
Calizas terciarias	81,2	5,81
Yesos y margas terciarios	20,159	1,44
Materiales detríticos pliocuaternarios y pleistocenos	134,911	9,65
Materiales detríticos holocenos	58,905	4,21
	1.398	

Fuente: IGME. Elaboración propia.

Entre Alfambra y Teruel aparece ampliamente representada la unidad de calizas lacustres terciarias, que colmataron la depresión de Alfambra-Teruel en el Neógeno, disponiéndose sobre las series rojas. La instalación de la red fluvial actual fue desgajando en retazos las formaciones que integran esta unidad, que quedaron constituyendo las cumbres y la cornisa de plataformas estructurales horizontales y cerros testigos, puestos en resalte por erosión diferencial. Estas calizas no presentan un nivel de porosidad y permeabilidad tan elevado como el de las formaciones carbonatadas mesozoicas descritas anteriormente, ni tampoco unos espesores comparables con los de

aquellas, por lo que, aun siendo materiales permeables no dan origen a una circulación subterránea importante. Además, las arcillas rojas que las sustentan actúan como un nivel impermeable que hace retornar pronto a la superficie el agua que hubiera podido introducirse en las calizas.

Los numerosos cambios de facies que se producen en el interior de la depresión de Alfambra-Teruel, tanto en sentido lateral como longitudinal, determinan el afloramiento, esencialmente al norte de Teruel, de una unidad de yesos y margas terciarias. Estos materiales favorecen la escorrentía superficial, aunque también permiten una cierta circulación subsuperficial del agua.

Los llanos de Conclud-Caudé, al noreste de Teruel, el glacis de Perales del Alfambra y un amplio sector de la margen izquierda del río Alfambra, al oeste del pueblo del mismo nombre, son amplias zonas de afloramiento de materiales detríticos pliocuaternarios y pleistocenos. Estos depósitos, aunque con distinto grado de compacidad por la formación de costras en los niveles más antiguos, siempre presentan los suficientes intersticios entre sus componentes (cantos, gravas, arenas, arcillas, carbonatos) para que el agua se infiltre y percole en ellos. Además, sobre estas formaciones, frecuentemente, se han ubicado campos de cultivo que disgregan los componentes de las formaciones detríticas facilitando la penetración del agua hacia el subsuelo.

La unidad del Holoceno, integrada también por materiales detríticos en este caso muy sueltos, es proclive a la infiltración y por tanto a la circulación del agua por el subsuelo. Se dispone en ambos márgenes del río Alfambra y de alguno de sus principales afluentes, configurando sus actuales llanuras de inundación.

Finalmente, en el núcleo de la Sierra del Pobo y en la zona de la laguna de Tortajada afloran las series triásicas, que se comportan como un conjunto bastante impermeable, sobre todo por la presencia en la base de la unidad de arcillas y yesos del Keuper y, por tanto, favorecen la circulación superficial del agua.

La distribución de las diferentes unidades litológicas aflorantes en la cuenca del Alfambra, junto a las características estratigráficas de las formaciones que las integran, han determinado la existencia de varios acuíferos o masas de agua subterránea, representados en el esquema de la figura 7.

La mitad occidental de la cuenca se identifica con el acuífero Hoya de Alfambra, de tipo detrítico y drenaje libre. En la mitad oriental, en gran medida identificada con las sierras de Gúdar-Maestrazgo, se suceden tres acuíferos carbonatados de tipo mixto: Javalambre occidental, Javalambre oriental y Maestrazgo occidental. Espacios mucho más reducidos ocupan el acuífero Hoya de Teruel, que se prolonga más al sur en la cuenca del Turia, y el acuífero de interés local 03.

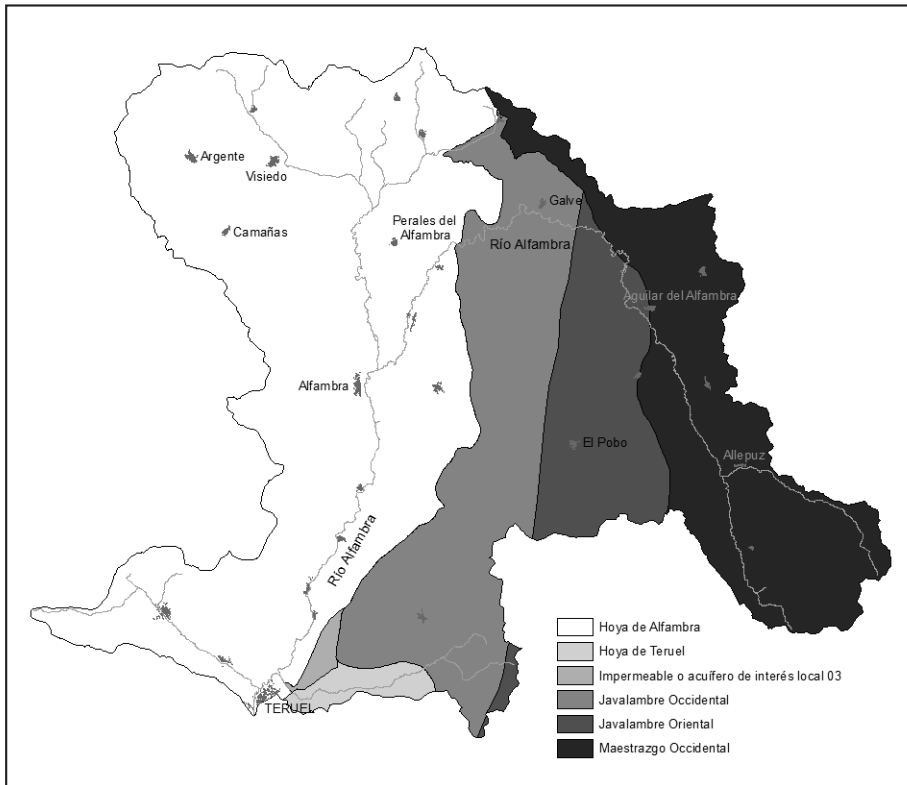


Fig. 7. Esquema de distribución de los acuíferos de la cuenca del río Alfambra. Fuente: Confederación Hidrográfica del Júcar. Elaboración propia.

USOS DEL SUELO

La utilización del suelo para diferentes usos, la presencia o ausencia de cubierta vegetal, el tipo y la densidad de esa cubierta vegetal, condicionan tanto la cantidad de agua que, procedente de las precipitaciones, llega hasta la superficie terrestre como su posterior comportamiento ligado a la escorrentía, a la infiltración o a la evapotranspiración.

Un suelo desnudo recibe toda el agua de las precipitaciones registradas en la zona, pero también soporta el impacto directo de las gotas de lluvia que provoca la compactación de la lámina superficial de dicho suelo, impidiendo que el agua pueda infiltrarse. La consecuencia es que casi la totalidad del agua de lluvia produce escorrentía superficial. Ahora bien, si ese suelo desnudo es cultivado su estructura es totalmente alterada, generando una gran cantidad de huecos por los que el agua puede pasar e infiltrarse.

Cuando el suelo sustenta una cubierta vegetal la situación es muy distinta. Esa cubierta vegetal intercepta parte del agua de las precipitaciones y aunque una fracción del agua inicialmente interceptada acaba llegando al suelo, lo hace a un ritmo diferente, más dilatado en el tiempo. Además, las gotas de lluvia no golpean directamente contra el suelo, por lo que no se produce ese efecto de compactación. Por todo ello, aunque sigue funcionando la escorrentía superficial, también actúa la infiltración, a lo que ayudan los intersticios dejados por las propias raíces de las plantas y, en consecuencia, también se activa la escorrentía subsuperficial.

Según el tipo de cubierta vegetal y su densidad varía la cantidad de agua de las precipitaciones interceptada y, en consecuencia, la que llega al suelo, siendo las formaciones vegetales de porte arbóreo las que llevan a cabo una mayor interceptación, distinta para diferentes especies.

Para analizar los usos del suelo y el reparto de la cubierta vegetal en la cuenca del río Alfambra se ha recurrido a la cartografía del Corine Land Cover. El Corine es un proyecto de la Unión Europea sobre diferentes cuestiones medioambientales. Las bases de datos y varias tareas de este proyecto, entre las que figura la elaboración de una cartografía de cubierta vegetal y usos del suelo, han sido asumidas por la Agencia Europea de Medioambiente. La base de datos se actualiza anualmente y la cartografía tiene una edición de 1990 y otra de 2000.

En este trabajo se ha utilizado el mapa del Corine Land Cover 2000, que se encuentra en un soporte que permite su introducción en ArcView. Cuenta en su leyenda con 64 elementos, siendo de nuevo necesario realizar una reestructuración de la misma reduciendo el número de componentes, al unir aquellos de parecida composición y con respuesta hidrológica similar. Si no se hace así, los recintos cartografiados son en muchos casos muy reducidos y no se obtiene una visión de conjunto de los usos del suelo en la cuenca que permita analizar su incidencia en el comportamiento hidrológico.

El resultado ha sido la elaboración de un mapa donde se diferencian 18 tipos de usos del suelo y donde pueden apreciarse sectores de la cuenca con predominio de usos diferentes que propician distintas respuestas hidrológicas. Llama la atención la gran extensión ocupada por los cultivos de secano, que supera el 44% de la superficie de la cuenca (tabla 3). Se han instalado sobre los materiales detríticos terciarios de los Llanos de Visiedo, los depósitos pliocuaternarios de Perales del Alfambra, las acumulaciones detríticas cuaternarias del interior de la depresión Alfambra-Teruel y de los Llanos de Caudé y, finalmente, sobre series tanto terciarias como mesozoicas en la zona de Aguilar del Alfambra-El Pobo. Incluso ocupan casi la mitad de la cuenca si consideramos aquellos lugares donde los cultivos de secano forman mosaico con prados o con vegetación natural.

Las formaciones de matorral cubren más de una cuarta parte (28,27%) del territorio de la cuenca (tabla 3), siendo su presencia especialmente destacada en la Sierra del Pobo y en la cabecera del Alfambra, también perteneciente a las Serranías de Gúdar. Allí alternan formaciones de matorral de densidades muy distintas, en tanto que en Sierra Palomera y su estribación de Cerro Gordo, en la Sierra de Lidón y su prolongación hacia el interior de la depresión de Alfambra-Teruel, y en el interior de la depresión en el sector entre Alfambra y Teruel el matorral, bien representado, es muy poco denso.



Foto 3. Ortofoto de los cañones del río Alfambra en la zona de Galve. Fuente: Centro de Información Territorial de Aragón.

TABLA 3

Superficie ocupada por los diferentes usos del suelo en la cuenca del Alfambra

USO GENERAL	SUPERFICIE (km ²)	%
Afloramientos rocosos	15,51	1,11
Balsas	0,07	0,01
Bosque de coníferas	84,17	6,02
Bosque mixto	11,53	0,82
Bosques de ribera	1,44	0,10
Choperas de plantación	12,27	0,88
Cultivos herbáceos en regadío	24,92	1,78
Matorral denso o medianamente denso	170,87	12,22
Matorral subarbustivo y arbustivo muy poco denso	224,37	16,05
Mezcla de frondosas	0,30	0,02
Mosaico de cultivos de secano con prados y praderas	12,93	0,92
Mosaico de cultivos en secano con vegetación natural	29,66	2,12
Núcleos de población	4,36	0,31
Pastizales mediterráneos	150,63	10,77
Perennifolias	25,38	1,82
Tierras de labor en secano	618,27	44,22
Xeroestepa subdesértica	10,73	0,77
Zonas de extracción minera	0,66	0,05
	1.398	100

Fuente: Corine Land Cover, elaboración propia.

En el sector de las Sierras de Gúdar-Maestrazgo que marginan el curso alto del río Alfambra y en las sierras que cierran la cuenca por el Norte están bien representadas las formaciones de pastizales mediterráneos, que en conjunto cubren algo más del 10% (tabla 3) de la superficie.

Los bosques de coníferas están representados nuevamente en las Serranías de Gúdar-Maestrazgo, tanto en la zona de cabecera del Alfambra como en la Sierra del Pobo. Cubren el 6% de la superficie de la cuenca y constituyen las áreas con mayor interceptación en ella. Las especies arbóreas de hoja perenne sólo se asientan en el 1,82% del suelo de la cuenca.

Una parte de la llanura aluvial del Alfambra se utiliza para cultivos de regadío, predominantemente herbáceas y choperas de plantación. Ocupan algo más de 37 km², que suponen el 2,66% de la superficie total de la cuenca.

Meramente testimonial es la presencia de otros usos: afloramientos rocosos, xeroestepa subdesértica, bosques de ribera, bosques mixtos, núcleos de población...

RED HIDROGRÁFICA

El conjunto de cursos fluviales que drena una cuenca constituye su red de drenaje. La presencia de una red de drenaje de cierta densidad bien jerarquizada garantiza la recogida de las aguas de las precipitaciones y su encauzamiento hasta engrosar los caudales de un río principal.

En la cuenca estudiada el papel de curso principal corresponde al río Alfambra, que le da nombre. Este río realiza la primera parte de su trazado en dirección SE-NW, adquiriendo en la zona de Galve un sentido E-W que le hace girar a la dirección NNE-SSW en su recorrido por la depresión de Alfambra-Teruel, a cuyo dispositivo estructural se adapta el río. Actualmente es un río poco caudaloso, con gran irregularidad en sus caudales, que ocasionalmente experimenta crecidas de relevante magnitud. Frente a ellas, también ocurre que, en la época estival, la circulación superficial de agua desaparece durante algunas semanas en determinados tramos del cauce. De todos sus afluentes sólo el río Sollavientos, que se une a él en su tramo alto cuando todavía su denominación es río Alfambra o río Blanco, dispone de caudal con cierta continuidad.

Por lo demás, los afluentes del Alfambra son ramblas y barrancos habitualmente sin caudal y con una gran torrencialidad. Sobre todo a partir de tormentas de verano es habitual que alguno de estos barrancos y ramblas encauce durante algunos minutos o, como mucho, algunas horas un caudal superior al que en su ritmo habitual fluye por el cauce del Alfambra. Algunas de estas ramblas y barrancos tienen su cabecera en las muelas terciarias, otros en las montañas de las Sierras de Gúdar-Maestrazgo. Aquellos que realizan la mayor parte de su recorrido por terreno calcáreo presentan aguas limpias en las que resulta difícil detectar a simple vista el contenido en carbonatos; sin embargo, aquellos cursos cuyo recorrido se efectúa entre las series detríticas rojas tienen sus aguas de este tono, especialmente en los momentos de crecida en los que la carga de arcillas en suspensión es muy elevada. Entre las ramblas y barrancos tributarios del Alfambra pueden citarse la rambla de la Hoz, el barranco de Corbalán, el barranco de Celadas, el barranco de la Cordillera, la rambla de río Seco o el barranco de Concul.

Sin olvidar el resto de los factores que hemos comentado, las características climáticas de la zona y la falta de afluentes del Alfambra con caudal continuo determinan un funcionamiento hidrológico muy peculiar, con un gran protagonismo de la torrencialidad, que permite considerar a este río como un buen ejemplo de los denominados ríos-rambla del ámbito mediterráneo.

Como ya se ha dicho, el Alfambra acaba su recorrido al pie de la ciudad de Teruel, donde se junta con el río Guadalaviar, procedente de la Sierra de Albarracín, dando origen al río Turia que traslada las aguas recogidas en la cuenca del Alfambra hasta el mar Mediterráneo.

Un elemento peculiar de la cuenca del Alfambra es la presencia de la pequeña laguna de Tortajada en su sector meridional, al noreste de la ciudad de Teruel. La karstificación de las dolomías y carniolas del Muschelkalk, la presencia de yesos y arcillas impermeables del Keuper, e incluso algún rejuogo tectónico pueden tener algo que ver en su origen.

En este trabajo no se pretende estudiar con detalle la red de drenaje de la cuenca del río Alfambra, sino exclusivamente describir sus principales características. La conclusión que interesa ex-



Foto 4. Valle del río Alfambra.



Foto 5. Barranco de Corbalán.

traer de este somero análisis es que la red es suficientemente densa y está debidamente jerarquizada, en la mayor parte del territorio de la cuenca, como para recoger la escorrentía superficial y una parte de la escorrentía subsuperficial generada por la infiltración y conducirla hasta el cauce del Alfambra, engrosando su caudal.

CONCLUSIONES

Como no podía ser de otra manera, los rasgos del medio físico de la cuenca tienen una influencia muy directa en su comportamiento hidrológico y en su red de drenaje.

- El registro de unas precipitaciones escasas condiciona de manera muy directa la existencia de unos caudales bajos en el río principal, del que se tiene registro en las estaciones de aforo de Villalba Alta y de Teruel. En Villalba Alta el caudal medio para toda la serie de datos existente (1944-1945 a 2005-2006) es de $0,92 \text{ m}^3/\text{s}$. Por su parte, en Teruel (1911-1912 a 2005-2006) este valor se sitúa en $1,23 \text{ m}^3/\text{s}$, sólo unos metros antes de juntarse con un Guadalaviar algo más caudaloso. La mayor parte de esas precipitaciones son en forma de lluvia, de manera que los periodos de máxima precipitación corresponden con los periodos de aguas altas (final de invierno y primavera) y las estaciones del año con menos precipitaciones son periodos de aguas bajas (verano).

La suma de la continentalidad y de la relativa cercanía de las Serranías de Gúdar-Maestrazgo al Mediterráneo propician que, esporádicamente, sobre la cuenca del Alfambra se produzcan precipitaciones de fuerte intensidad que generan crecidas de evolución muy rápida y con máximos instantáneos que multiplican por muchas veces el caudal habitual del Alfambra. Así, en Villalba Alta se han dado registros por encima de los $50 \text{ m}^3/\text{s}$ en septiembre de 1999 ($61,68 \text{ m}^3/\text{s}$), octubre de 2000 ($52,89 \text{ m}^3/\text{s}$) y mayo de 2003 ($55,23 \text{ m}^3/\text{s}$). En Teruel se han superado los $100 \text{ m}^3/\text{s}$ de caudal máximo instantáneo en los meses de agosto de 1950 ($138,5 \text{ m}^3/\text{s}$), 1981 ($132,1 \text{ m}^3/\text{s}$) y 1996 ($110 \text{ m}^3/\text{s}$).

- En la cuenca del Alfambra hay sectores con pendientes suaves donde se propicia la infiltración del agua. Entre ellos la llanura aluvial del río, el área de Alfambra-Escorihuela, el entorno de Perales del Alfambra y los Llanos de Visiedo, los Llanos de Concud, que forman parte del glacis de Gea, alrededor de El Pobo y una zona en torno a Aguilar del Alfambra.

Junto a éstos, también hay amplios sectores con pendientes de nivel medio donde parte del agua que llega al suelo se infiltra, pero otra ayudada por esas pendientes se moviliza superficialmente a través de la escorrentía superficial. Se encuentran entre estas zonas el área de la cabecera del Alfambra, la Sierra del Pobo, y un amplio sector desplegado a ambas orillas del río Alfambra entre las localidades de Alfambra y Teruel.

- La litología aflorante en la cuenca del Alfambra presenta una clara dualidad:
 - Por un lado, amplios sectores donde domina el afloramiento de series carbonatadas mesozoicas, identificadas con las Serranías de Gúdar-Maestrazgo, a las que se unen Sierra Palo-

mera y la divisoria septentrional. Esta litología impulsa el funcionamiento de la infiltración y la percolación, favoreciendo la presencia de una notoria circulación subterránea de agua, en detrimento de la alimentación del caudal de los ríos a través de la escorrentía superficial.

- Por otro lado, en todo el interior de la depresión de Alfambra-Teruel la litología aflorante es principalmente detrítica, de edad tanto terciaria como cuaternaria. Entre las series detríticas hay una importante presencia de arcillas que, por su carácter impermeable, favorecen la escorrentía superficial. No obstante, los niveles de conglomerados y gravas, cuando no han adquirido una elevada compacidad, permiten la llegada de agua al subsuelo generando un acuífero detrítico de fácil explotación para el riego de campos de cultivo. Se puede decir que en este ámbito de la cuenca del Alfambra perteneciente a la depresión de Alfambra-Teruel la escorrentía funciona de forma generalizada, en tanto que la infiltración lo hace básicamente donde las series detríticas están poco cementadas: niveles bajos de terrazas y glaciés y, sobre todo, llanura aluvial o terraza subactual del Alfambra e incluso fondos de barrancos.

La presencia en algunas zonas de calizas terciarias sobre las series detríticas no modifica el comportamiento general de los procesos hidrológicos impuestos por los depósitos detríticos.

- Es muy escasa la vegetación que adquiere suficiente porte y densidad en la cuenca del Alfambra para llevar a cabo una interceptación destacable. Ni siquiera en las áreas de matorral denso este es el proceso dominante sino que, favorecida por un subsuelo con litología permeable y las raíces de las plantas, la infiltración es el proceso más activo.

En las zonas cultivadas, desprovistas de vegetación natural, la escorrentía parece llamada a jugar el papel principal. Sin embargo, la planitud de buena parte del terreno y, sobre todo, la remoción del material detrítico para efectuar cultivos resta valor a esta escorrentía a favor de la infiltración. No obstante, esa escorrentía superficial es también funcional tal como se detecta en los momentos de precipitaciones intensas en los que tanto la arroyada difusa como el flujo en los cauces presentan una elevada carga de materiales en suspensión. Se puede afirmar que infiltración y escorrentía conjugan su funcionamiento sin que se pueda evaluar por ahora el porcentaje de participación de cada uno de ellos. Sería de gran interés la instalación de parcelas experimentales para cuantificar el grado de actividad de estos dos procesos hidrológicos.

- La red fluvial de la cuenca aparece bien jerarquizada y, por tanto, potencialmente dispuesta para encauzar el agua procedente de las precipitaciones. No obstante, la escasez de esas precipitaciones y el impulso que las características litológicas, topográficas y de usos del suelo dan a la infiltración en diferentes sectores, determinan que gran parte de la red fluvial no disponga de caudal sino esporádicamente. Sólo el propio río Alfambra tiene un caudal de cierta entidad de manera continuada, salvo sectorialmente en algunos periodos estivales, aunque manteniendo una condición de río muy poco caudaloso, siendo la torrencialidad su otro rasgo diferencial. Ambas características unidas permiten considerar a este río como un buen ejemplo de río-rambla mediterráneo.

- Combinando la información obtenida de cada uno de los elementos del medio analizados y teniendo presente su distribución espacial, se pueden distinguir una serie de sectores dentro de los límites de la cuenca del Alfambra con un comportamiento hidrológico diferente o, dicho de otra forma, proclives a la actuación preferente de uno o varios procesos hidrológicos.
 - Sector de las Serranías de Gúdar-Maestrazgo, así como de Sierra Palomera y otras sierras que cierran por el norte la cuenca. Dominio de series carbonatadas mesozoicas, pendientes medias y cubierta vegetal predominantemente de matorral de diferente densidad y algunas extensiones de bosque. Zona donde se conjugan escorrentía e infiltración como procesos hidrológicos dominantes, siendo este último el que acapara la mayor parte de las precipitaciones, escasas para zonas de montaña media, lo que justifica la existencia de importantes acuíferos en el subsuelo. Es la zona donde existe mayor interceptación, aunque el volumen de agua interceptado es muy inferior al infiltrado o al que participa en la escorrentía.
 - Sector de la depresión de Alfambra-Teruel, incluyendo los amplios Llanos de Visiedo y la planicie del glacis de Perales del Alfambra. Las series detríticas tanto terciarias como cuaternarias ocupan la mayor parte de este espacio que entre Alfambra y Teruel tiene una topografía con pendientes de valores medios y abundante matorral. Por ello, de nuevo infiltración y escorrentía, como proceso dominante, se reparten el agua que llega al suelo, habiéndose interceptado una cantidad muy reducida de la aportada por unas precipitaciones escasas.

En las zonas de Perales del Alfambra, Llanos de Visiedo y Llanos de Concud-Caudé los depósitos detríticos se combinan con una topografía de pendientes muy reducidas y un uso generalizado del suelo para cultivos. El resultado es el funcionamiento de la infiltración, especialmente en episodios de precipitaciones de baja intensidad. Esta infiltración alimenta el acuífero detrítico de la Hoya de Alfambra cuyo nivel freático, en diferentes puntos, discurre a escasa profundidad. Sin embargo, con precipitaciones intensas la presencia de arcillas cierra pronto las vías de penetración del agua, al menos sectorialmente, y la escorrentía se convierte en la protagonista, conduciendo agua hasta la red de drenaje y arrastrando una gran cantidad de carga principalmente en suspensión.

- En torno a la población de El Pobo se repiten las características de planitud, afloramiento de series detríticas terciarias y cultivos de secano, reproduciéndose lo señalado para esas zonas más llanas del interior de la depresión de Alfambra-Teruel.

En definitiva, en la cuenca del río Alfambra se produce una relativamente escasa entrada de agua a través de las precipitaciones, de la que el porcentaje interceptado por la vegetación, en conjunto, es bajo. Infiltración y escorrentía se reparten el agua que llega al suelo dominando la primera en las zonas serranas calcáreas, contribuyendo a ello la vegetación. A su vez, en las zonas de la depresión de Alfambra-Teruel y en el entorno de El Pobo, el mayor protagonismo corresponde a la escorrentía, pudiendo, eso sí, dominar en distintos momentos uno u otro de estos dos procesos hidrológicos.

Todo esto se plasma en los caudales de los ríos tanto en la baja caudaliosidad del propio Alfambra, como en la inexistencia de caudal habitualmente en los restantes cursos que integran la red de dre-

naje de la cuenca. Sólo ante una alta intensidad de lluvias se produce una abundante escorrentía que incrementa los caudales de los cursos fluviales, generalmente en periodos de tiempo muy cortos.

Tras este estudio de los factores del medio natural que condicionan el comportamiento de la cuenca del río Alfambra, tendría un enorme interés tanto el estudio hidrológico de la misma, aprovechando las buenas y prolongadas series de datos existentes en los dos afluentes del río, como el análisis de los cambios registrados en los usos del suelo y en la dinámica de las precipitaciones durante las últimas décadas. Lo primero ayudaría a cuantificar alguna de las conclusiones que se han expresado aquí cualitativamente. Lo segundo contribuiría a precisar el papel de cada uno de estos dos factores (vegetación y precipitaciones) en el descenso de caudal que se aprecia en este sistema fluvial durante la segunda mitad del siglo XX, común al apreciado en otros ríos peninsulares.

BIBLIOGRAFÍA

- ADROVER, R. (1986), *Nuevas faunas de roedores en el Mio-Plioceno continental de la región de Teruel (España)*. Interés bioestratigráfico y paleoecológico. Teruel, Instituto de Estudios Turoleses.
- ADROVER, R.; GUTIÉRREZ, M. y PEÑA, J.L. (1985), «Geología y paleontología de los alrededores de Teruel», *Libro-Guía del XIX Curso de Geología Práctica*, pp. 197-222.
- ADROVER, R.; MEIN, P. y MOISSENET, E. (1978), «Nuevos datos sobre la edad de las formaciones continentales neógenas de los alrededores de Teruel», *Estudios Geológicos*, 34, pp. 205-214.
- ALCALÁ, L. (1994), *Macromamíferos neógenos de la fosa de Alfambra-Teruel*, Teruel, Instituto de Estudios Turoleses y Museo Nacional de Ciencias Naturales.
- BURILLO, F.; GUTIÉRREZ, M. y PEÑA, J.L. (1981a), «El cerro del castillo de Alfambra (Teruel). Estudio interdisciplinar de geomorfología y arqueología», *Kalathos*, 1, pp. 7-63.
- AGENCIA EUROPEA DE MEDIO AMBIENTE (2000), *Corine Land Cover 2000*, Madrid, Instituto Geográfico Nacional, Centro Nacional de Información Geográfica.
- CUADRAT, J.M.; SAZ, M.A. y VICENTE, S. (redactores) (2007), *Atlas climático de Aragón*, Servicio de Información y Educación Ambiental, Gobierno de Aragón.
- DEL VALLE, J.; OLLERO, A. y SÁNCHEZ FABRE, M. (2007), *Atlas de los ríos de Aragón*, Zaragoza, Prames.
- DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA y CEDEX (2008), *Anuario de Aforos 2005-2006*, 2 tomos (Confederaciones Hidrográficas) y edición digital en DVD, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- ESTERAS, M. y AGUIRRE, E. (1964), «*Paralephas trogontherii* Pohlig en una terraza media de Teruel», *Teruel*, 32, pp. 235-244.
- ESTRELA, T. (coord.) (2005), *Informe para la Comisión Europea sobre los artículos 5 y 6 de la Directiva Marco del Agua*, Confederación Hidrográfica del Júcar.
- GASCÓN, B. (1986), *Estudio hidrológico de la cuenca del Alfambra*, Memoria de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza.
- GAUTIER, F.; MOISSENET, E. y VIALARD, P. (1972), «Contribution à l'étude stratigraphique et tectonique du fossé néogène de Teruel (Chaînes Ibériques, Espagne)», *Bull. Mus. d'hist. Nat.* 77, Sciences de la Terre, 16, pp. 179-208.

- GUILLÉN, M.P. (2001), *Las cuencas fluviales turolenses*, Tesis Doctoral, Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, inédita.
- GUTIÉRREZ, F. (1998), *Fenómenos de subsidencia por disolución de formaciones evaporíticas en las fosas neógenas de Teruel y Calatayud (Cordillera Ibérica)*, Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza, inédita.
- GUTIÉRREZ, M. y PEÑA, J.L. (1976), «Glacis y terrazas en el curso medio del río Alfambra (prov. de Teruel)», *Boletín Geológico y Minero*, LXXXVII-VI, pp. 561-570.
- (1990), *Las formas del relieve de la provincia de Teruel*. Col. Cartillas Turolenses, nº extra 7, Teruel, Instituto de Estudios Turolenses.
- GUTIÉRREZ, M.; PEÑA, J.L. y SÁNCHEZ FABRE, M. (1985), «Dolinas aluviales en los materiales yesíferos de Villalba Baja (Teruel)», *Actas I Reuniao do Quaternario Ibérico*, II, pp. 427-438.
- HERMOSILLA, J. (2008), *Las vegas tradicionales del Alto Turia: sistemas y paisajes de regadío*, Colección Regadíos históricos valencianos, vol. 10. Dirección General de Patrimonio Cultural Valenciano de la Generalitat Valenciana y Departament de Geografia de la Universitat de Valencia.
- HERNÁNDEZ, A. et al. (1985), *Mapa Geológico de España, escala 1:200.000. Hoja 47, Teruel*, Madrid, Instituto Geológico y Minero de España.
- IGME (1978a), *Mapa Geológico de España, escala 1:50.000, Serie Magna. Hoja 517, Argente*, Madrid, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía.
- (1978b), *Mapa Geológico de España, escala 1:50.000, Serie Magna. Hoja 518, Montalbán*, Madrid, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía.
 - (1978c), *Mapa Geológico de España, escala 1:50.000, Serie Magna. Hoja 543, Villarluengo*, Madrid, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía.
 - (1978d), *Mapa Geológico de España, escala 1:50.000, Serie Magna. Hoja 568, Alcalá de la Selva*, Madrid, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía.
 - (1983a), *Mapa Geológico de España, escala 1:50.000, Serie Magna. Hoja 516, Monreal del Campo*, Madrid, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía.
 - (1983b), *Mapa Geológico de España, escala 1:50.000, Serie Magna. Hoja 541, Santa Eulalia*, Madrid, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía.
 - (1983c), *Mapa Geológico de España, escala 1:50.000, Serie Magna. Hoja 542, Alfambra*, Madrid, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía.
 - (1983d), *Mapa Geológico de España, escala 1:50.000, Serie Magna. Hoja 566, Cella*, Madrid, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía.
 - (1983e), *Mapa Geológico de España, escala 1:50.000, Serie Magna. Hoja 567, Teruel*, Madrid, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía.
 - (1983f), *Mapa Geológico de España, escala 1:50.000, Serie Magna. Hoja 590, La Puebla de Valverde*, Madrid, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía.
- LOZANO, M.V. (1986), «Las acumulaciones cuaternarias del curso alto del río Alfambra (prov. Teruel)», *Teruel*, 75, pp. 5-40.
- (1988), *Estudio geomorfológico de las Sierras de Gúdar (prov. de Teruel)*, Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, inédita.

- LOZANO, M.V.; PEÑA, J.L. y SÁNCHEZ FABRE, M. (1987), «La depresión de Alfambra-Teruel y la Sierra de Gúdar (Prov. de Teruel). Aspectos Físicos e Itinerario Didáctico», *II Curso de Didáctica de la Geografía Física*, pp. 143-172.
- (1996), «Secuencias acumulativas de glaciares y terrazas del valle del río Turia en el sector central de la Depresión de Teruel», *Teruel*, 83-84, pp. 139-156.
- MAPA (1985), *Mapa de cultivos y aprovechamientos de la provincia de Teruel, escala 1:200.000*, Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- MASACHS, V. (1948), *El régimen de los ríos peninsulares*, Barcelona, CSIC, Instituto Lucas Mallada.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA (1977), *Mapa de cultivos y aprovechamientos, escala 1:50.000. Hoja 517, Argente*, Madrid, Servicio de Publicaciones Agrarias.
- (1981), *Mapa de cultivos y aprovechamientos, escala 1:50.000. Hoja 543, Villarluengo*, Madrid, Servicio de Publicaciones Agrarias.
 - (1982a), *Mapa de cultivos y aprovechamientos, escala 1:50.000. Hoja 516, Monreal del Campo*, Madrid, Servicio de Publicaciones Agrarias.
 - (1982b), *Mapa de cultivos y aprovechamientos, escala 1:50.000. Hoja 518, Montalbán*, Madrid, Servicio de Publicaciones Agrarias.
 - (1982c), *Mapa de cultivos y aprovechamientos, escala 1:50.000. Hoja 541, Santa Eulalia*, Madrid, Servicio de Publicaciones Agrarias.
 - (1982d), *Mapa de cultivos y aprovechamientos, escala 1:50.000. Hoja 542, Alfambra*, Madrid, Servicio de Publicaciones Agrarias.
 - (1982e), *Mapa de cultivos y aprovechamientos, escala 1:50.000. Hoja 566, Cella*, Madrid, Servicio de Publicaciones Agrarias.
 - (1982f), *Mapa de cultivos y aprovechamientos, escala 1:50.000. Hoja 567, Teruel*, Madrid, Servicio de Publicaciones Agrarias.
 - (1982g), *Mapa de cultivos y aprovechamientos, escala 1:50.000. Hoja 568, Alcalá de la Selva*, Madrid, Servicio de Publicaciones Agrarias.
 - (1983), *Mapa de cultivos y aprovechamientos, escala 1:50.000. Hoja 590, La Puebla de Valverde*, Madrid, Servicio de Publicaciones Agrarias.
- MOISSENET, E. (1980), «Relief et déformations récents: trois transversales dans les fossés internes des chaînes ibériques orientales», *Rev. Geogr. Pyrénées et du Sud-Ouest*, 51 (3), pp. 315-344.
- (1985), «Le Quaternaire Moyen aluvial du Fossé de Teruel (Espagne)», *Physio-Géo*, 14/15, pp. 61-78.
 - (1993), «L'âge et les déformations des terrasses alluviales du fossé de Teruel», *El Cuaternario en España y Portugal*, 1, pp. 267-279.
- MORELL, J. (1999), *Les revingudes de la conca alta del Turia*, Memoria de licenciatura, Departamento de Geografía, Universitat de València, inédita.
- OLLERO, A.; BALLARÍN, D.; DÍAZ, E.; MORA, D. y SÁNCHEZ FABRE, M. (2006), «Calidad hidromorfológica de los ríos de Aragón», *Tecnología del Agua*, 278, pp. 36-41.
- PAILHÉ, P. (1984), *La chaîne ibérique orientale. Etude Géomorphologique*, Tesis Doctoral, Université de Pau et des Pays de l'Adour.

- PEÑA, J.L. (1983), «Las acumulaciones cuaternarias de la confluencia de los ríos Alfambra y Guadalaviar en las cercanías de Teruel», *Actas VII Coloquio de Geografía de Pamplona de 1981*, t. 2, pp. 255-259.
- PEÑA, J.L.; GUTIÉRREZ, M.; IBÁÑEZ, M.J.; LOZANO, M.V.; RODRÍGUEZ, J.; SÁNCHEZ FABRE, M.; SIMÓN, J.L.; SORIANO, M.A. y YETANO, L.M. (1984), *Geomorfología de la provincia de Teruel*, Teruel, Instituto de Estudios Turoleses.
- PEÑA, J.L.; SÁNCHEZ FABRE, M. y SIMÓN, J.L. (1981), «Algunos aspectos de la neotectónica cuaternaria del margen oriental de la fosa de Alfambra-Teruel», *Teruel*, 66, pp. 31-46.
- PEÑA, J.L.; SÁNCHEZ FABRE, M.; LOZANO, M.V.; JIMÉNEZ, A. y MOYA, C. (1996), «Ensayo de correlación de las acumulaciones de ladera pleistocenas de la Cordillera Ibérica Oriental», en *Homenaje a Purificación Atrián*, Teruel, Instituto de Estudios Turoleses.
- PEÑA, J.L.; CUADRAT, J.M. y SÁNCHEZ FABRE, M. (2002), *El clima de la provincia de Teruel*. Col. Cartillas Turoleses nº 20, Teruel, Instituto de Estudios Turoleses.
- PEÑA, J.L.; LONGARES, L.A. y ESPINALT, M. (2000), *Paisajes naturales de la provincia de Teruel, Guía del medio natural*. Col. Conocer Teruel, Teruel, Instituto de Estudios Turoleses.
- PEÑA, J.L.; PELLICER, F.; JULIÁN, A.; CHUECA, J.; ECHEVERRÍA, M.T.; LOZANO, M.V. y SÁNCHEZ FABRE, M. (2002), *Mapa geomorfológico de Aragón*, Serie Investigación, Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón.
- PUEBLA, P. et al. (1988), «Calidad de las aguas de la Cuenca del Turia: estudio de pesticidas», *Teruel*, 79 [I], pp. 209-219.
- SAN ROMÁN, J. (coord.) (2005), *Los ríos de Aragón*, 18 volúmenes, Zaragoza, Prensa Diaria Aragonesa.
- SÁNCHEZ FABRE, M. (1985), «El clima de la ciudad de Teruel», *Teruel*, 73, pp. 135-167.
- (1989a), *Geomorfología de la depresión de Alfambra-Teruel-Landete y sus rebordes montañosos*, Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, inédita.
 - (1989b), «Formas kársticas en la zona de Villalba Baja-Cuevas Labradas (Depresión de Alfambra-Teruel-Landete)», *Cuaternario y Geomorfología*, 3, pp. 45-52.
 - (1990), «Variaciones interanuales del balance hídrico en Teruel», *Geographica*, 27, pp. 199-224.
 - (1991), «Consideraciones sobre la geomorfología de la depresión de Alfambra-Teruel-Landete y sus rebordes montañosos (provincias de Teruel, Valencia y Cuenca)», *Studium*, 3, pp. 47-70.
 - (1993), «Aportación al estudio hidrológico del río Alfambra (prov. de Teruel)», *Geographica*, 30, pp. 347-360
- SÁNCHEZ FABRE, M.; OLLERO, A. y DEL VALLE, J. (2004), «La red fluvial de Aragón», en PEÑA, J.L.; LONGARES, L.A. y SÁNCHEZ FABRE, M. (eds.), *El medio físico de Aragón: aspectos generales y temáticos*, Universidad de Zaragoza e Institución Fernando El Católico, pp. 50-70.
- SÁNCHEZ FABRE, M.; PEÑA, J.L. y MOYA, C. (1986), «Aportación al conocimiento del régimen fluvial de los ríos Alfambra y Guadalaviar o Turia a su paso por Teruel», *Teruel*, 76, pp. 27-49.
- SÁNCHEZ GONZÁLEZ, M.D. (1990), *Estudio de calidad de las aguas superficiales de los ríos Alfambra y Turia en el entorno de Teruel*, Tesis Doctoral.
- (1996), «Estudio de calidad del río Turia en el entorno de Teruel», en *Homenaje a Purificación Atrián*, Teruel, Instituto de Estudios Turoleses, pp. 387-410.

SANTONJA, M.; MOISSENET, E.; PÉREZ, A.; VILLA, P.; SESÉ, C.; SOTO, E.; EISENMANN, V.; MORA, R. y DUPRÉ, M. (1994), «Cuesta de la Bajada: un yacimiento del Pleistoceno medio en Aragón», *Arqueología Aragonesa*, pp. 61-68.

SIMÓN, J.L. (1984), *Compresión y distensión alpinas en la cadena ibérica oriental*, Teruel, Instituto de Estudios Turoleses.

Recibido el 28 de abril de 2010
Aceptado el 29 de abril de 2010



**ICNITAS DE DINOSAURIOS
EN AGUILAR DEL ALFAMBRA (TERUEL, ESPAÑA)**



*L. Mampel, A. Cobos, L. Alcalá, E. Espílez,
R. Royo-Torres, A. González y F. Gascó*

ICNITAS DE DINOSAURIOS EN AGUILAR DEL ALFAMBRA (TERUEL, ESPAÑA)

*L. Mampel**, *A. Cobos**, *L. Alcalá**, *E. Espílez**, *R. Royo-Torres**,
*A. González** y *F. Gascó**

RESUMEN

Se presenta en este trabajo el resultado de las prospecciones paleontológicas llevadas a cabo en el término municipal de Aguilar del Alfambra (Teruel) por un equipo de la Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel-Dinópolis durante el año 2010. El hallazgo más relevante consiste en un nuevo yacimiento con icnitas de dinosaurios en materiales calcáreos de la Formación Villar del Arzobispo, de edad Titónico Medio-Berriasiense basal (Jurásico Superior-Cretácico Inferior). Cabe destacar la variedad de productores identificados, la presencia de tres rastros de estegosáuridos y la de cinco rastros de pequeños dinosaurios bípedos. Los dinosaurios que dejaron ambos tipos de rastros se desplazaron siguiendo direcciones paralelas y en el mismo sentido. Las icnitas presentan un singular tipo de conservación, pues afloran en el muro de un mismo estrato como contramoldes naturales reproducidos en hiporrelieves convexos.

Palabras clave: icnitas, dinosaurios, hiporrelieve convexo, Formación Villar del Arzobispo, Titónico-Berriasiense, Aguilar del Alfambra, Teruel.

* Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel-Dinópolis (Museo Aragonés de Paleontología). Avda. Sagunto s/n. 44002 Teruel.

ABSTRACT

Dinosaur footprints in Aguilar del Alfambra (Teruel, España).

The results of the work carried out by the palaeontologists from Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel-Dinópolis in Aguilar del Alfambra (Teruel) along 2010 are presented in this paper. The most outstanding finding is a new site with dinosaur fossil footprints in calcareous rocks from Villar del Arzobispo Formation, of middle Tithonian-basal Berriasian age (Upper Jurassic-Lower Cretaceous). It is remarkable to highlight the diversity of identified producers, the presence of three stegosaurid trackways and also five trackways attributed to small bipedal dinosaurs. The dinosaurs that made both types of trails walked following parallel ways progressing in the same direction. The ichnites show a peculiar kind of conservation, because they appear in the lowermost side of a layer as natural infillings preserved as convex hiporeliefs.

Key words: ichnites, dinosaurs, convex hiporeliefs, Villar del Arzobispo Formation, Tithonian-Berriasian, Aguilar del Alfambra, Teruel.

INTRODUCCIÓN

Los yacimientos de icnitas de dinosaurio en la provincia de Teruel forman parte del rico patrimonio paleoicnológico existente en la Península Ibérica. En la actualidad son varios los municipios turolenses que cuentan con yacimientos de esta tipología: Ababuj (ALCALÁ y MARTÍN, 1995), Abenfigo-Castellote (MELÉNDEZ *et al.*, 2003), Aguilar del Alfambra (ALCALÁ y MARTÍN, 1995), Ariño (CANUDO *et al.*, 2000), Cedrillas (COBOS *et al.*, 2008), El Castellar (ALCALÁ *et al.*, 2003), Formiche Alto (COBOS *et al.*, 2005), Galve (CASANOVAS *et al.*, 1983-1984; CUENCA *et al.*, 1993; PÉREZ-LORENTE *et al.*, 1997; BLANCO *et al.*, 2000; PÉREZ-LORENTE y ROMERO-MOLINA, 2001), Miravete de la Sierra (PÉREZ-LORENTE y ROMERO-MOLINA, 2001) y Riodeva (ROYO-TORRES *et al.*, 2009), algunos de ellos declarados Bien de Interés Cultural, Zona Paleontológica, por el Gobierno de Aragón (ANDRÉS *et al.*, 2007).

La gran mayoría de los yacimientos de icnitas de dinosaurio publicados en la provincia de Teruel se registra en materiales pertenecientes a la Formación Villar del Arzobispo, de edad Titónico-Berriasiense (Jurásico Superior-Cretácico Inferior), rango temporal al cual pertenece también el nuevo yacimiento de huellas que se presenta en este trabajo. Según COBOS *et al.* (2010), la asociación de dinosaurios registrada en esta Formación es muy diversa. Recientemente se ha descrito en el yacimiento El Castellar el icnotaxón *Deltapodus ibericus* COBOS, ROYO-TORRES, LUQUE, ALCALÁ y MAMPEL, 2010 atribuido a un productor estegosaurio. Además, otras han sido atribuidas a productores saurópodos (tipo diplodócido) en el yacimiento Ababuj (ROYO-TORRES, 2009), a eusaurópodos turiasaurios en los yacimientos El Pozo y El Mirador (COBOS *et al.*, 2008; ROYO-TORRES, 2009) y a titanosauriformes en el yacimiento de Las Cerradicas (CANUDO *et al.*, 2008). También se han descrito huellas de terópodos de diferente tamaño (ANDRÉS *et al.*, 2007), así como rastros de ornitópodos en marcha bípeda y cuadrúpeda (PÉREZ LORENTE *et al.*, 1997; COBOS *et al.*, 2008; LOCKLEY, 2009).

En Aguilar del Alfambra ya se había citado la presencia de icnitas ovaladas en materiales del Jurásico Superior (ALCALÁ y MARTÍN, 1995), yacimiento que aquí se denomina Aguilar 1 (tabla 1). No se conocía la existencia de restos directos de dinosaurio dentro de su término municipal -a pesar de que suele existir una asociación usual entre ambos tipos de yacimientos dentro de esta Formación- hasta que, en 2010, se hallaron restos óseos aislados (yacimiento Aguilar 2 en tabla 1) a raíz de la prospección paleontológica llevada a cabo por la Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel-Dinópolis (FCPTD) en los términos municipales de Aguilar del Alfambra y Ababuj (ALCALÁ *et al.*, 2010). Como resultado de las mismas tareas (tabla 1), también se produjo el hallazgo de un nuevo emplazamiento -Aguilar 3- con huellas de dinosaurios en la partida denominada "El Ojuelo" (fig. 1). Se trata de un yacimiento singular debido al buen estado de conservación de las huellas, cuya descripción es el objetivo de este trabajo. Las icnitas de dinosaurios están conservadas como contramoldes (hiporrelieve convexo) formando algunos rastros, hecho poco abundante en el registro fósil (MEYER *et al.*, 1994), especialmente conformando rastros. En la Península Ibérica en general, y en la provincia de Teruel de forma particular, los ejemplos citados al respecto son escasos. En el cercano término municipal de Galve, CASTANERA *et al.* (2010) describen la presencia de grandes contramoldes atribuidos a icnitas de saurópodos en la Formación Villar del Arzobispo. LOCKLEY *et al.* (2008) citan otro yacimiento español con contramoldes, estos en epirrelieve: Tereñes (Principado de Asturias).

TABLA 1

Yacimiento previamente documentado y nuevos lugares con dinosaurios documentados en 2010 durante la prospección paleontológica realizada en el término municipal de Aguilar del Alfambra (ALCALÁ *et al.*, 2010)

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN
Aguilar 1 (ALCALÁ y MARTÍN, 1995)	Yacimiento de icnitas
Aguilar 2	Indicio macrovertebrados (<i>Theropoda</i> indet.)
Aguilar 3	Yacimiento de icnitas
Aguilar 4	Indicio con icnitas aisladas

SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DE AGUILAR 3

El yacimiento Aguilar 3 se ubica dentro del término municipal de Aguilar del Alfambra, en las cercanías del "Camino de Perales" (fig. 1), y sus coordenadas UTM (Huso 30, Elipsoide Internacional Datum ED50) son X: 683.495, Y: 4.495.297. Administrativamente, pertenece a la Comarca Comunidad de Teruel, situada en la zona meridional de Aragón, distando unos 50 km de la ciudad de Teruel.

Desde un punto de vista geológico, el yacimiento se sitúa en la subcuenca de Galve dentro de los relieves de la Cordillera Ibérica, una cadena montañosa que cruza la zona oriental de la Penin-



Fig. 1. Situación geográfica y geológica de afloramientos con restos de dinosaurios (directos e indirectos) reconocidos dentro del término municipal de Alfambra (modificado del Instituto Geológico y Minero de España, IGME).

sula Ibérica con dirección NW a SE. Estratigráficamente, el yacimiento se encuentra en secuencias regresivas continentales con influencia marina correspondientes a la Formación Villar del Arzobispo, de edad Titónico Medio- Berriasiense basal (AURELL *et al.*, 1994; BÁDENAS *et al.*, 2008-2009). Las huellas se encuentran a muro de un estrato calizo-margoso, en una capa de dirección N68° y buzamiento 75°N. La superficie que contiene las huellas está parcialmente alterada y se observan diversas zonas con distinto estado de conservación para las icnitas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para realizar la cartografía del yacimiento de icnitas Aguilar 3 se utilizó una Estación Total Modelo Trimble 5600 Plus. Una vez replanteado el contorno de cada una de las huellas localizadas se estableció un Punto de Estación para el aparato topográfico accesible, desde el cual se pudiera divisar todo el yacimiento (fig. 2). Con el aparato estacionado se procedió a la medición de las coordenadas de cada uno de los puntos observados; para ello se empleó un mini-prisma que facilitó el proceso de toma de datos. Tras efectuar la medición, se realizó la descarga de los datos y desde un programa CAD se reconstruyó la geometría del yacimiento, basada en los puntos radiados y con la ayuda de croquis y de fotos realizados en la zona de trabajo.



Fig. 2. Toma de datos en campo y vista general del yacimiento Aguilar 3.

DESCRIPCIÓN DE LAS ICNITAS

El yacimiento Aguilar 3 cuenta con más de 60 icnitas, todas ellas conservadas como contramol-des (hiporrelieve convexo) en el muro de un estrato calcomargoso subverticalizado (fig. 2). Un afloramamiento principal, de 12,5 m² de exposición, concentra casi todas las huellas (fig. 3). De forma aislada aparecen huellas ovaladas, didáctilas y tridáctilas ("Icnitas aisladas A y B" en fig. 3), además de 30 huellas agrupadas en ocho rastros: tres de dinosaurios cuadrúpedos y cinco atribuidas a dinosaurios bípedos (figuras 3, 4 y 7) que se describen sucintamente a continuación.

Al menos hay veintitrés icnitas con manos y pies diferenciados en los rastros cuadrúpedos. Los pies presentan una forma subtriangular, son ligeramente más estrechos en la zona del talón y tienen una anchura mayor en su parte anterior, donde en algunos casos se pueden diferenciar tres dedos cortos dirigidos anteriormente (fig. 6). Las huellas de las manos tienen la característica forma de media luna. Aparecen asociaciones mano-pie en nueve ocasiones.

El estudio icnológico realizado sobre estas huellas permite diferenciar dos rastros subparalelos y un posible tercer rastro, todos ellos con la misma dirección y sentido de la marcha.

El rastro mejor conservado (rastros 1 en la figura 4) muestra tres pares consecutivos pie-mano como el mostrado en la figura 5. Las icnitas correspondientes a pies poseen una forma general triangular con tres dedos cortos y anchos, siendo más largo el central (dígito III). Están orientados anteriormente ocupando todo el borde anterior de la pisada. Se observa, además, una icnita tridáctila superpuesta a la primera de las huellas cuadrúpedas que conforma este rastro, que indicaría que los cuadrúpedos pisaron antes que los bípedos (fig. 6). Las manos tienen forma arriñonada ("kidney-shaped"), un contorno exterior regular en forma de media luna y son anteriormente convexas.

Generalmente los pares pie-mano de los rastros siempre muestran la mano localizada inmediatamente delante del pie, sin apenas (o con un leve) desplazamiento lateral, y también se ha observado el solapamiento de un par pie-mano. Los rastros son anchos internamente y presentan un ángulo de rotación elevado en la dirección de las huellas respecto a la línea media del rastro. Esta descripción coincide con la detallada por COBOS *et al.* (2010) para *Deltapodus ibericus*. Además, la medida de relación longitud-anchura (L/A) para las manos del rastro 1 se mantiene inferior a 0,50, como en las huellas de manos asignadas a estegosaurios, según describe GARCÍA-RAMOS *et al.* (2008) en icnitas de conservación similar. Así, estos restos presentan características diagnósticas de *Deltapodus ibericus*, pero también ligeras diferencias, por lo que se determinan provisionalmente como *Deltapodus* ("Deltapodus-like").

Por otra parte, también se observan treinta y nueve huellas tridáctilas de pies sin haberse reconocido icnitas correspondientes a las manos. La anchura de las huellas es ligeramente superior a la longitud de las mismas, presentando una relación L/A < 1 con una media de 0,85. La longitud media de las icnitas tridáctilas es de 11,01 cm. Estas dimensiones indican productores bípedos de pequeño tamaño (THULBORN, 1984 y 1989). Diecinueve de estas huellas tridáctilas están agrupadas en cinco rastros bípedos, tal y como puede observarse en la figura 7.

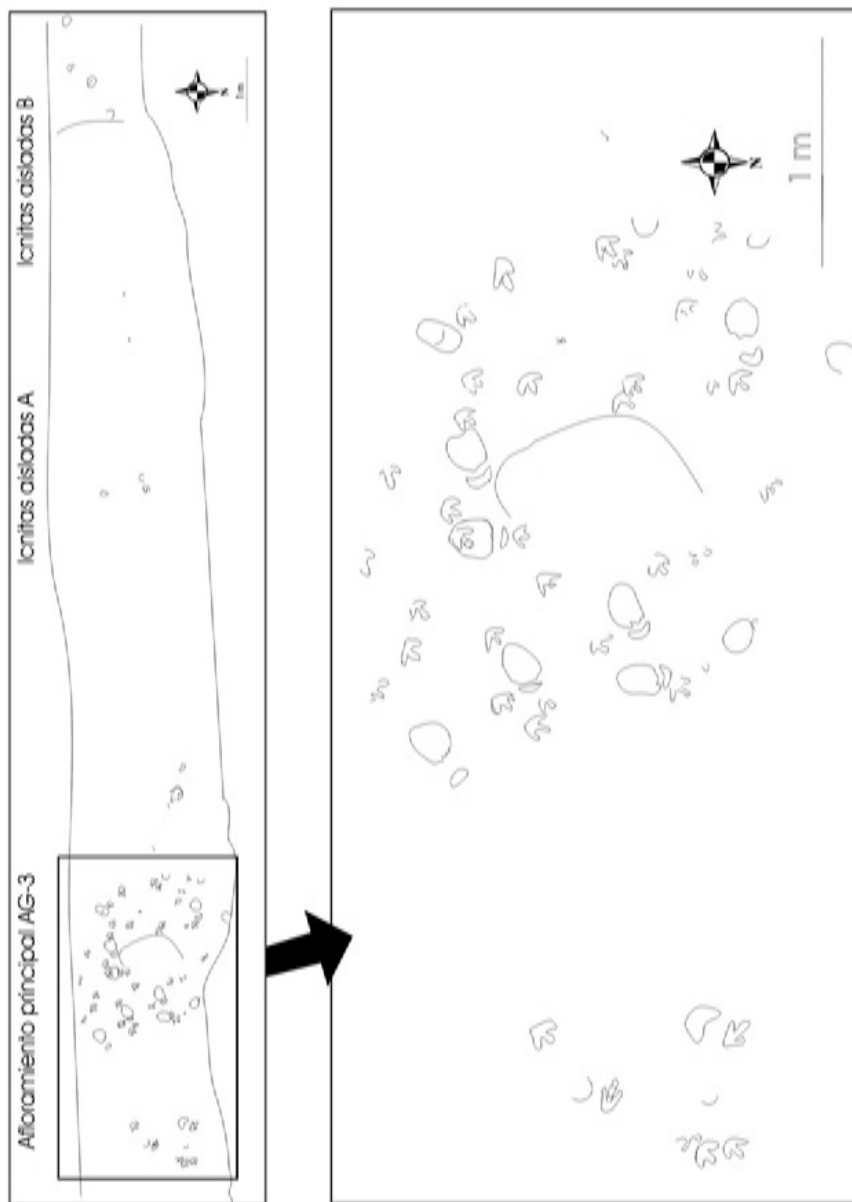


Fig. 3. Cartografía de icnitas de dinosaurio del yacimiento Aguilar 3 (arriba) y detalle del afloramiento principal (abajo).

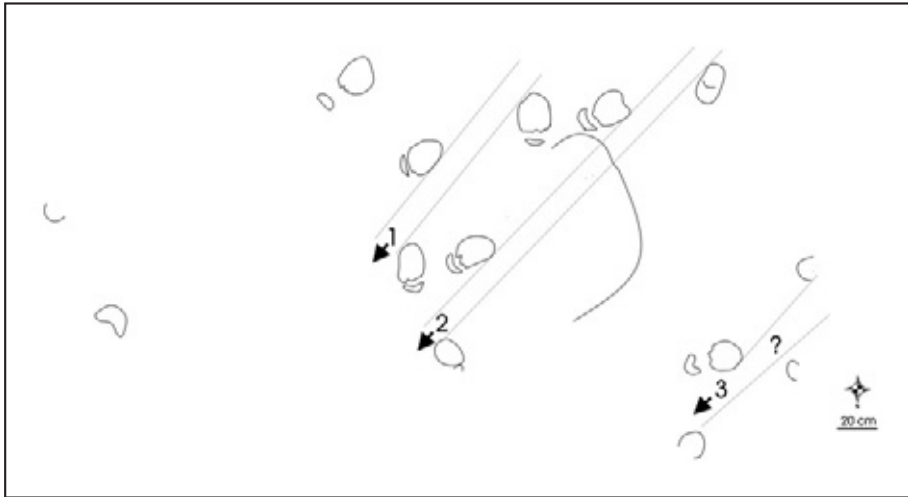


Fig. 4. Selección de huellas cuadrúpedas asociadas en dos rastros claramente definidos y un posible tercer rastro en la misma dirección y sentido de la marcha.



Fig. 5. Contramolde natural de la asociación mano-pie atribuida a un estegosaurio (longitud del par mano-pie: 27,4 cm).



Fig. 6. Icnita tridáctila superpuesta a la huella de un pie atribuido a un estegosaurio (longitud del par mano-pie: 29,2 cm).

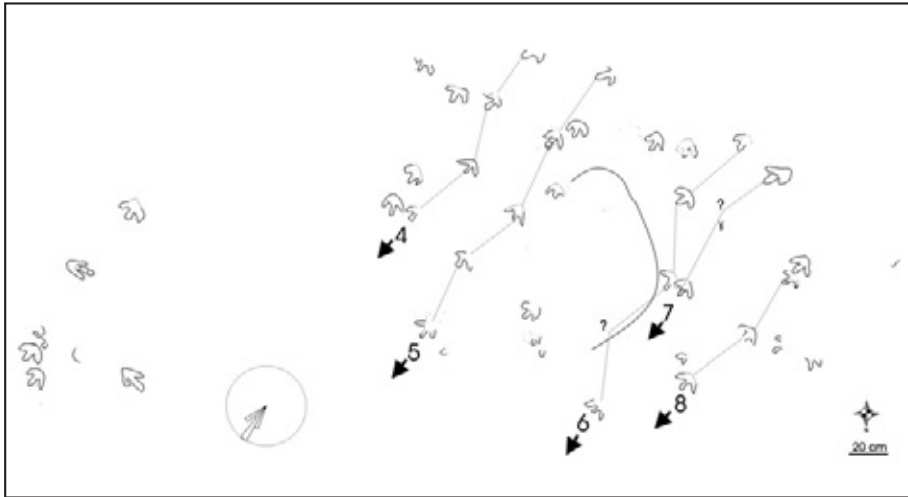


Fig. 7. Cartografía que destaca la distribución de las huellas tridáctiles asociadas en cinco rastros subparalelos.

La proporción L/A de los cinco rastros tridáctiles varía entre 0,74 y 1,08. De acuerdo con los intervalos propuestos por MORATALLA *et al.* (1988), las huellas con un valor de L/A inferior a 1,25 se consideran ornitópodas, con una probabilidad del 88,2 % de que el productor sea un ornitópodo. Por lo tanto, siguiendo a estos autores, los cinco rastros tridáctiles presentan huellas ornitópodas, si bien es prudente no descartar todavía un productor terópodo para las mismas, debido a las congruencias que se dan en este tipo de huellas entre productores terópodos y ornitópodos en estas edades (LOCKLEY, 2009).

CONCLUSIONES

Se presenta un nuevo yacimiento de icnitas de dinosaurio dentro de la Formación Villar del Arzobispo (Titónico medio-Berriasiense basal) en Aguilar del Alfambra, denominado Aguilar 3. Entre las más de 60 huellas –todas ellas conservadas como contramoldes (hiporrelieve convexo) y siendo uno de los escasos yacimientos conocidos mundialmente con esta preservación *in situ*– se pueden diferenciar tres rastros cuadrúpedos de productor estegosaurio de pequeño tamaño, asignadas a *Deltapodus* (“*Deltapodus*-like”).

Igualmente se presentan, al menos, cinco rastros producidos por dinosaurios bípedos de pequeño tamaño que pasaron posteriormente. Las icnitas son de características ornitópodas; sin embargo, la atribución a productores ornitópodos o terópodos no puede establecerse en el estado actual de las investigaciones. Además existen otras tridáctiles aisladas diferentes a las anteriores que indicarían una mayor diversidad de productores.

Los rastros presentan aproximadamente la misma dirección e indican un mismo sentido de desplazamiento. Además, los cinco productores bípedos caminaban a velocidades similares. Desde un punto de vista etológico, estos datos conllevarían a la hipótesis de que estos productores tenían un comportamiento gregario.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte de los proyectos de investigación en Paleontología del Departamento de Educación, Cultura y Deporte. Ha contado con el soporte de: Dirección General de Patrimonio Cultural del Gobierno de Aragón (exp. 202/2010), Ayuntamiento de Aguilar del Alfambra, Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel-Dinópolis, Proyecto DINOSARAGÓN CGL2009-07792 (Ministerio de Educación y Ciencia y Fondos FEDER), FOCONTUR (Grupo de Investigación Consolidado E-62, Departamento de Ciencia, Tecnología y Universidad, Gobierno de Aragón), Ministerio de Educación y Ciencia (AP2008-00846) e Instituto Aragonés de Fomento.

BIBLIOGRAFÍA

- ALCALÁ, L. (2006), «Los yacimientos turolenses de icnitas y el Conjunto Paleontológico Dinópolis», *Actas Simposio Internacional Huellas que perduran. Icnitas de Dinosaurios: Patrimonio y recurso. Fundación del Patrimonio Histórico de Castilla y León*, pp. 265-286.
- ALCALÁ, L.; COBOS, A. y ROYO-TORRES, R. (2003), «Icnitas de dinosaurio en El Castellar (Teruel)», en M.V. PARDO ALONSO y R. GOZALO (eds.), *Libro de Resúmenes. XIX Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología*, 16 al 18 de octubre de 2003, Morella, p. 28.
- ALCALÁ, L.; COBOS, A.; LUQUE, L.; MAMPEL, L.; ROYO-TORRES, R. y SANTOS, V.F. (2011), «Los dinosaurios de la Península Ibérica a través de sus huellas», en J. CALVO; J. PORFIRI; B. GONZÁLEZ-RIGA y D. DOS SANTOS (eds.), *Paleontología y dinosaurios desde América Latina*, Mendoza, Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo - EDIUNC, pp. 17-24.
- ALCALÁ, L.; ESPÍLEZ, E. y MAMPEL, L. (2010), *Informe paleontológico de los yacimientos del TM de Aguilar del Alfambra (Teruel)*, exp. 202/2010, Informe inédito, Dirección General de Patrimonio Cultural del Gobierno de Aragón, 35 p.
- ALCALÁ, L. y MARTÍN, C. (1995), «Huellas de dinosaurios en el Jurásico Superior de Ababuj (Teruel)», *Geogaceta*, 17, pp. 19-22.
- ANDRÉS, J.A.; ALCALÁ, L.; BARCO, J.L.; CANUDO, J.I.; COBOS, A. y GARCÍA, J.C. (2007), «Un paseo con los dinosaurios de Aragón (Yacimientos de icnitas de dinosaurio)», *Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón*.
- AURELL, M.; MAS, R.; MELÉNDEZ, A. y SALAS, R. (1994), «El tránsito Jurásico-Cretácico en la Cordillera Ibérica: relación tectónica-sedimentación y evolución paleogeográfica», *Cuadernos de Geología Ibérica*, 18, pp. 369-396.
- BÁDENAS, B.; AURELL, M.; IPAS, J. y ESPÍLEZ, E. (2008-2009), «Las plataformas del final del Jurásico al suroeste de la provincia de Teruel: evolución de facies y secuencias de alta frecuencia», *Teruel*, 92 (I), pp. 67-96.
- BLANCO, M.; CARO, S.; PÉREZ-LORENTE, F.; REQUETA, E. y ROMERO, M. (2000), «Un nuevo yacimiento jurásico con icnitas saurópodos en la Cordillera Ibérica. Galve (Teruel)», *Geogaceta*, 28, pp. 23-26.
- CANUDO, J.I.; ALBERTO, J.L.; BARCO, J.L.; ROYO-TORRES, R. y RUIZ-OMEÑACA, J.I. (2000), «La Dinoturbación de Ariño», *Cauce*, 4, 2, pp. 9-15.

- CANUDO, J.I.; PÉREZ-LORENTE, F.; BADIOLA, A.; BARCO, J.L.; CRUZADO-CABALLERO, P.; DÍAZ-MARTÍNEZ, I.; GASCA, J.M.; GÓMEZ-FERNÁNDEZ, D.; MORENO-AZANZA, M. y HERRERO GASCÓN, J. (2008), «Evidencia de gregarismo en pequeños dinosaurios saurópodos del Titónico-Berriasiense (Formación Villar del Arzobispo, Galve, Teruel)», *XXIV Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología*, Colunga (Asturias, España), Libro de Resúmenes, pp. 23-24.
- CASANOVAS-CLADELLAS, M.L.; SANTAFÉ-LLOPIS, J.V. y SANZ, J.L. (1983-1984), «Las icnitas de "Los Corrales del Pelejón" en el Cretácico Inferior de Galve (Teruel, España)», *Paleontología i Evolució*, 18, pp. 155-162.
- CASTANERA, D.; CANUDO, J.I.; DÍAZ-MARTÍNEZ, I.; HERRERO GASCÓN, J. y PÉREZ-LORENTE, F. (2010), «Grandes contramoldes de icnitas de saurópodos en el Tithónico-Berriasiense de la Formación Villar del Arzobispo en Galve (Teruel)», en J.I. RUIZ-OMENACA; L. PIÑUELA y J.C. GARCÍA-RAMOS (eds.), *Comunicaciones del V Congreso del Jurásico de España*, pp. 178-183.
- COBOS, A. (2004), «Valoración patrimonial de los yacimientos de icnitas de dinosaurio de la provincia de Teruel», *Geocaceta*, 36, pp. 191-194.
- COBOS, A.; MAMPEL, L.; ROYO-TORRES, R.; ESPÍLEZ, E. y ALCALÁ, L. (2005), «Nuevos yacimientos de icnitas de dinosaurio en Formiche Alto (Teruel)», *Geocaceta*, 38, pp. 19-22.
- COBOS, A.; ROYO-TORRES, R.; ALCALÁ, L.; LUQUE, L. y ABERASTURI, A. (2008), «Nuevos datos de las icnitas de dinosaurios en la Formación Villar del Arzobispo (Teruel)», *XXIV Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología*, Colunga (Asturias, España), Libro de Resúmenes, pp. 25-26.
- COBOS, A.; ROYO-TORRES, R.; LUQUE, L.; ALCALÁ, L. y MAMPEL, L. (2010), «An Iberian stegosaurs paradise: The Villar del Arzobispo Formation (Tithonian-Berriasian) in Teruel (Spain)», *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 293, pp. 223-236.
- GARCÍA-RAMOS, J.C.; PIÑUELA, L. y AVANZINI, M. (2005), «From babies to giants: extreme sizes in saurópodo tracks. Deltaic series of the Asturias Upper Jurassic (N Spain)», en *International Symposium on Dinosaurs and other vertebrates Palaeoichnology*, Fumanya, Barcelona, pp. 57-58.
- GARCÍA-RAMOS, J.C.; PIÑUELA, L.; RUIZ-OMENACA, J.I. y PEREDA SUBERBIOLA, X. (2010), «Costas jurásicas frecuentadas por estegosaurios», *XXIV Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología*, Colunga (Asturias, España), Libro de Resúmenes, pp. 33-34.
- LOCKLEY, M. (2009), «Some comparisons between Dinosaur-dominated Footprint assemblages in North America and Europe», en P. HUERTA y T. TORCIDA-FERNÁNDEZ-BALDOR (eds.), *Actas de las IV Jornadas Internacionales sobre Paleontología de Dinosaurios y su Entorno*, Salas de los Infantes, Burgos, pp. 121-138.
- LOCKLEY, M.G.; GARCÍA-RAMOS, J.C.; PIÑUELA, L. y AVANZINI, M. (2008), «A review of vertebrate track assemblages from the Late Jurassic of Asturias, Spain with comparative notes on coeval ichnofaunas from the western USA: implications for faunal diversity in association with siliciclastic facies assemblages», *Oryctos*, 8, pp. 53-70.
- MAS, J.R.; ALONSO, A. y MELÉNDEZ, N. (1984), «La Formación Villar del Arzobispo: un ejemplo de llanuras de marea silicicásticas asociadas a plataformas carbonatadas, Jurásico terminal (NW de Valencia y E de Cuenca)», *Publicaciones de Geología*, Universidad Autónoma de Barcelona, 20, pp. 175-188.
- MORATALLA, J.J.; SANZ, J.L. y JIMÉNEZ, S. (1988), «Multivariate analysis on Lower Cretaceous dinosaur footprints: discrimination between ornithopods and theropods», *Geobios*, 21, pp. 395-408.
- MELÉNDEZ, A.; EZQUERRA, R.; ZURITA, E. y PÉREZ-LORENTE, F. (2003), «El yacimiento de huellas de dinosaurio de Abenfigo (Teruel, España)», en F. PÉREZ-LORENTE (ed.), *Dinosaurios y otros reptiles mesozoicos en España*, Ciencias de la Tierra, 26, pp. 137-146.

- MEYER, C.A.; LOCKLEY, M.G.; ROBINSON, J. y DOS SANTOS, V.F. (1994), «A comparison of well-preserved sauropod traces from the Late Jurassic of Portugal and the Western United States: evidence and implications», *Gaia*, 10, pp. 57-64.
- PÉREZ-LORENTE, F.; CUENCA-BESCÓS, G.; AURELL, M.; CANUDO, J.I.; SORIA, A.R. y RUIZ-OMEÑACA, J.I. (1997), «Las Cerradicas tracksite (Berriasian, Galve, Spain): Growing evidence for quadrupedal ornithopods», *Ichnos*, 5, pp. 109-120.
- PÉREZ-LORENTE, F. y ROMERO-MOLINA, M.M. (2001), «Nuevas icnitas de dinosaurios terópodos y saurópodos en Galve y Miravete de la Sierra (Teruel, España)», *Geogaceta*, 30, pp. 115-118.
- ROYO-TORRES, R. (2009), «La evolución de los dinosaurios saurópodos en la Península Ibérica», en P. HUERTA y T. TORCIDA-FERNÁNDEZ-BALDOR (eds.), *Actas de las IV Jornadas Internacionales sobre Paleontología de Dinosaurios y su Entorno*, Salas de los Infantes, Burgos, pp. 139-166.
- ROYO-TORRES, R.; COBOS, A.; LUQUE, L.; ABERASTURI, A.; ESPÍLEZ, E.; FIERRO, I.; GONZÁLEZ, A.; MAMPEL, L. y ALCALÁ, L. (2009), «High European Sauropod dinosaur diversity during Jurassic-Cretaceous transition in Riodeva (Teruel, Spain)», *Paleontology*, 52, part. 5, pp. 1009-1027.
- SANZ, J.L.; BUSCALIONI, A.D.; CASANOVAS, M.L. y SANTAFÉ, J.V. (1987), «Dinosaurios del Cretácico Inferior de Galve (Teruel, España)», *Estudios geológicos*, Vol. Extr., pp. 45-64.
- THULBORN, R.A. (1984), «Preferred gaits of bipedal dinosaurs», *Alcheringa*, vol. 8, pp. 243-252.
- (1989), «The Gaits of dinosaurs», en D.D. GILLETTE y M.G. LOCKLEY (eds.), *Dinosaur Tracks and Traces*, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 39-50.

Recibido el 9 de febrero de 2011
Aceptado el 10 de febrero de 2011



**ESTUDIO DE LOS RESTOS DE MAMÍFEROS FÓSILES
DEL PLEISTOCENO MEDIO DE LA CUEVA
DE LOS HUESOS DE OBÓN (TERUEL)**



Diana Ramón del Río

ESTUDIO DE LOS RESTOS DE MAMÍFEROS FÓSILES DEL PLEISTOCENO MEDIO DE LA CUEVA DE LOS HUESOS DE OBÓN (TERUEL)*

*Diana Ramón del Río***

RESUMEN

En este trabajo se estudia la asociación de mamíferos fósiles del Pleistoceno Medio presentes en la Cueva de los Huesos de Obón. Se han reconocido las siguientes especies de macromamíferos: *Crocota crocuta*, *Canis lupus*, *Vulpes* cf. *vulpes*, *Felis silvestris*, *Meles meles*, *Stephanorhinus hemitoechus*, *Equus* cf. *mosbachensis*, *Bison* cf. *schoetensacki*, *Capra* sp. y *Cervus elaphus* ssp. Del estudio bioestratigráfico, comparando con las faunas de yacimientos de edad similar en el contexto ibérico y europeo, se estima una edad aproximada para el yacimiento en torno a los 400.000-300.000 años. Los datos tafonómicos preliminares apuntan a que las hienas tuvieron una importante participación en la concentración de restos óseos en la cueva. El estudio paleoecológico inferido a partir de la fauna muestra la existencia de un bosque abierto, alternando con zonas de grandes prados y masas de agua.

Palabras clave: Teruel, Obón, Cueva de los Huesos, Pleistoceno Medio, mamíferos, hienas.

* Resumen del trabajo realizado con una ayuda del Instituto de Estudios Turoleses en su XXIV Concurso de Ayudas a la Investigación de 2006.

** Grupo Aragosaurus. Área de Paleontología. Departamento Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. Pedro Cerbuna s/n E-50009 Zaragoza. diana@aragosaurus.com

ABSTRACT

The Middle Pleistocene mammal fossils assemblage of the "Cueva de los Huesos" from Obón (Teruel).

The mammal fossils assemblage of the Middle Pleistocene, Cueva de los Huesos from Obón (Teruel) is herein studied. The following macromammal species have been recognized: *Crocota crocuta*, *Canis lupus*, *Vulpes cf. vulpes*, *Felis silvestris*, *Meles meles*, *Stephanorhinus hemitoechus*, *Equus cf. mosbachensis*, *Bison cf. schoetensacki*, *Capra* sp. and *Cervus elaphus* ssp. Of the biostratigraphic study, comparing this faunas with other similar aged Iberian and European faunas, there is estimated an approximate age for the site of around 400-300 ky. Preliminary taphonomic interpretation suggests that hyenas had an important contribution to the accumulation of the bony remains at the site. The palaeoecological interpretation inferred from the fauna indicate the existence of an open forest, alternating with areas of grasslands and wetlands.

Key words: Teruel, Obón, Cueva de los Huesos, Middle Pleistocene, mammals, hyenas.

INTRODUCCIÓN

El Pleistoceno Medio constituye un periodo interesante en la historia de la vida, debido principalmente a la dispersión de algunos taxones, entre estos los homínidos, siendo la especie *Homo heidelbergensis* la que presenta mayor distribución por el continente europeo, antes de la actual *Homo sapiens* (ARSUAGA *et al.*, 2001, CUENCA-BESCÓS *et al.*, 2001). Durante esta época tuvieron lugar grandes cambios climáticos que provocaron un reemplazamiento de las faunas plio-pleistocenas por las actuales. Este reemplazamiento, que parece estar ligado a cambios climáticos, tendría lugar en torno al inicio del Pleistoceno Medio, constituyendo una época importante en la historia evolutiva de los mamíferos (CUENCA-BESCÓS *et al.*, 2005a).

Los yacimientos con restos fósiles de vertebrados de esta edad son escasos, no sólo en Aragón sino también en la Península Ibérica. Se pueden citar algunos niveles de Trinchera Dolina 8b-11, Trinchera Galería y Sima de los Huesos de Atapuerca en Burgos, Cúllar Baza I en Granada y Torralba y Ambrona en Soria (PÉREZ GONZÁLEZ *et al.*, 1997 y MADE, 2001). De edad pleistocena en Teruel encontramos yacimientos como Cuesta de la Bajada, en unos niveles de terraza del río Alfambra, con industria lítica y fauna del Pleistoceno Medio alto (SANTONJA *et al.*, 1992; SANTONJA *et al.*, 1994) y algunos hallazgos puntuales, como son el caso de una defensa de *Palaeoloxodon antiquus* en Obón (BARCO *et al.*, 2001) o un cráneo de *Bos primigenius*, denominado coloquialmente Uro del Fogañan, en Ariño (CUENCA-BESCÓS y CANUDO, 2005).

Estudios iniciales de la fauna de la Cueva de los Huesos de Obón revelaron una gran diversidad de mamíferos carnívoros y herbívoros (CUENCA-BESCÓS y CANUDO, 1999; CUENCA-BESCÓS *et al.*, 2005b), que mostraban un gran interés paleontológico.

El objetivo principal de este trabajo es estudiar la asociación de mamíferos fósiles de la Cueva de los Huesos de Obón (CHO). A partir de aquí se tratará de inferir la edad del yacimiento, la causa de acumulación de los restos fósiles y la paleoecología.

El fin último de este estudio consiste en ampliar los conocimientos que se tienen de las faunas de mamíferos para el Pleistoceno Medio en la provincia de Teruel.

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA

La Cueva de los Huesos se localiza en el término municipal de Obón, dentro del Parque Cultural del Río Martín en la provincia de Teruel (fig. 1). El mejor acceso a la cueva es desde la localidad de Torre las Arcas.

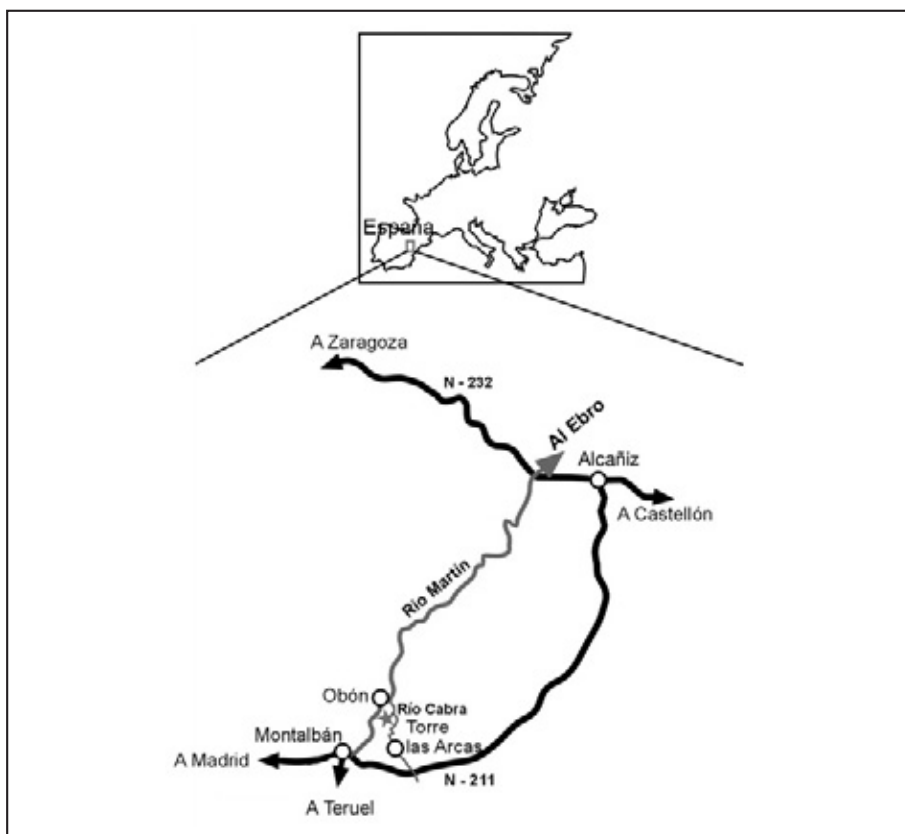


Fig. 1. Situación geográfica de la Cueva de los Huesos de Obón, Parque Cultural del Río Martín. Figura tomada de CUENCA *et al.*, 2005b.

La cueva se desarrolla en el Macizo de las Muelas, un relieve calizo de edad jurásica (AURELL *et al.*, 2001) que se encuentra aislado entre los ríos Martín y Cabra. Al barranco de las Muelas, donde se localiza la entrada de la cueva, se accede siguiendo un camino que va atravesando una zona cubierta por un denso sotobosque. A media ladera, y en su lado este, encontramos la pequeña abertura por la que se accede a la cavidad. Actualmente, debido a las evidencias de expolio, ésta se encuentra cerrada.

El sistema de cavidades de la cueva presenta un desarrollo aproximado de 100 metros de longitud en dirección norte-sur (fig. 2). La pequeña abertura por donde se accede a la cueva termina en una pequeña sala donde han sido citados restos humanos holocenos (LORENZO LIZALDE, 1993). Esta sala conecta por medio de una estrecha gatera con la Sala del Oso, cuyo nombre deriva de la presencia de abundantes marcas de zarpazos en la pared de cronología desconocida. Finalmente, a través de una corta gatera se accede a la Sala de los Huesos donde se encuentra el yacimiento.

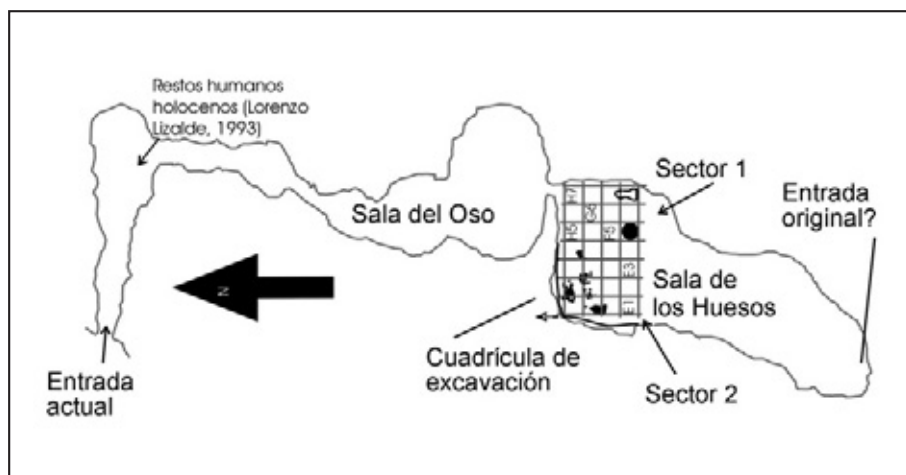


Fig. 2. Planta de la Cueva de los Huesos y cuadrícula de la excavación realizada en 1999. Topografía: Grupo Espeleológico "El Farallón", 1994. Figura tomada de CUENCA *et al.*, 2005b.

La cueva es activa en la actualidad y presenta evidencias de flujo de aguas superficiales con transporte de sedimento hacia las cotas más bajas situadas en el Sector 1 de las Sala de los Huesos (ver punto negro en fig. 2). Este punto parece haber sido, y continúa siendo en la actualidad, el sumidero de la cavidad.

La Cueva de los Huesos presenta un relleno exocárstico formado por limos y arcillas con restos óseos y con desarrollo de espeleotemas en varias áreas. Las características del relleno determinan que la cueva debió estar abierta al exterior durante un periodo de tiempo que se desconoce.

CUENCA-BESCÓS *et al.* (2005b) indican que el relleno de la cueva presenta un espesor de 130 cm formado por siete tramos (fig. 3). Los huesos fósiles están concentrados en el tramo 2 compuesto por 30 cm de arcillas cementadas. Los restos son más abundantes en la base de este tramo, disminuyendo hacia el techo. Los tramos 3 y 4 están formados por arcillas algo carbonatadas con restos fósiles de vertebrados dispersos. El tramo 5 está constituido por un espeleotema arcilloso de 2,5 cm con fragmentos de huesos dispersos. Este espeleotema hacia techo presenta cantos angulosos de caliza del interior de la cueva.

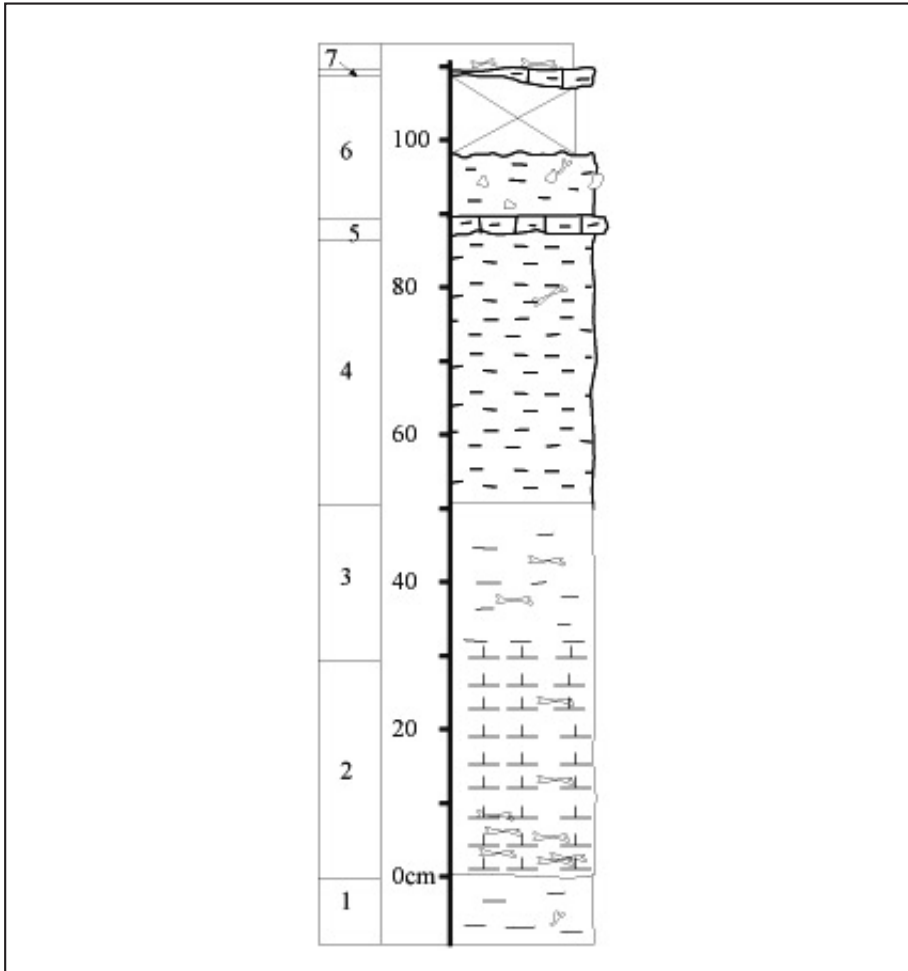


Fig. 3. Esquema estratigráfico del relleno de la Cueva de los Huesos de Obón del sector 2. Figura tomada de CUENCA *et al.*, 2005b.

ANTECEDENTES

La cueva fue descubierta antes de la Guerra Civil por un vecino de la localidad de Obón. Su ubicación permaneció oculta hasta los años setenta, cuando J.I. Lorenzo junto con un aficionado local, Javier Andreu, nieto del descubridor, reencontraron la cueva y recuperaron restos humanos de edad holocena (LORENZO LIZALDE, 1993) en la pequeña sala situada a la entrada de la cueva.

En los años noventa miembros del Grupo Espeleológico El Farallón de Montalbán y del Parque Cultural del Río Martín visitaron la cueva y redescubrieron el yacimiento de la CHO.

En 1997 miembros del Grupo Aragosaurus (Cuenca-Bescós y Canudo), junto a miembros del Grupo Espeleológico El Farallón de Montalbán y del Parque Cultural del Río Martín, realizaron una primera evaluación paleontológica de la cueva. Al constatar que los restos fósiles de la Cueva de los Huesos parecían mostrar un gran interés paleontológico decidieron comenzar con los trabajos de excavación y estudio.

En otoño de 1998 se realizó la primera excavación en la Sala de los Huesos. Se instaló una cuadrícula y se realizó una cata en el denominado sector 2 (ver fig. 2). La excavación se prolongó durante dos campañas correlativas, realizadas durante los años 1999 y 2000.

Hasta el momento sólo existe un trabajo sobre CHO, basado en un estudio paleontológico preliminar de los restos fósiles, que reveló una gran diversidad de carnívoros y herbívoros (CUENCA-BESCÓS *et al.*, 2005). En ese trabajo se dató la cueva como mesopleistocena en base a su contenido faunístico, comparable con las especies que aparecen en otros yacimientos de esta misma edad.

PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA

El material se encuentra depositado en el Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza, bajo las siglas MPZ. La lista faunística con los restos encontrados en CHO y su correspondiente sigla pueden verse en la tabla 1.

Orden CARNIVORA Bowdich, 1821

Familia HYAENIDAE Gray, 1821

Género *Crocuta* Kaup, 1828

Crocuta crocuta Erxleben, 1777

LÁMINA I, figura F

Descripción

La muela carnífera inferior (m1) está constituida por dos cúspides principales, el paracónido y protocónido, anterior y posterior respectivamente que apenas destacan debido al gran desgaste que presenta el molar. El metacónido está presente y puede observarse en la cara lingual. Por su lado posterior presenta un reducido talónido compuesto por una única cúspide, el entocónido, que es visible en la cara labial.

TABLA 1

Lista faunística de los mamíferos de la Cueva de los Huesos (Obón) con el elemento correspondiente y siglas del Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza

TAXÓN	SIGLA MPZ	ELEMENTO
Orden Carnivora		
Familia Canidae		
<i>Canis lupus</i>	2005/2	Fto. Max. s
	2005/6	M2 d
	2005/5	Fto. M1 d
	2005/1	Fto. Md. s
	2005/3	p2 d
	2007/810	c
	2007/811	c
	2005/4	i
	2005/18	Calcáneo d
	<i>Vulpes cf. vulpes</i>	2005/7
2005/8		m1 s
2005/10		i
Familia Felidae		
<i>Felis silvestris</i>	2007/812	Md. s (p3-m1)
	2005/12	Md. s (p3 y c)
	2005/9	Fto. m1
	2005/11	c s
Familia Hyaenidae		
<i>Crocota crocuta</i>	2005/15	m1 s
	2005/13	p4 d
	2005/14	l3 d
	2007/813	Fto. Mtc. II prox.
Familia Mustelidae		
<i>Meles meles</i>	2005/20	m1 s
Orden Perissodactyla		
Familia Rhinocerotidae		
<i>Stephanorhinus hemitoechus</i>	2007/814	Fto. cráneo
	2005/21	M12 d
	2005/22	M12 d
	2007/815	Fto. P2/P3 d

TAXÓN	SIGLA MPZ	ELEMENTO
	2005/30	Fto. diente
	2007/816	Fto. molar
	2005/27	Húmero d
	2005/28	Húmero d
	2007/817	Vértebra cervical
	2007/818	Vértebra torácica
	2007/819	Tibia d dis.
	2005/23	Astrágalo d
	2007/820	Astrágalo d
	2007/821	Astrágalo d
	2005/26	Astrágalo d juv.
	2005/24	Astrágalo s
	2005/25	Astrágalo s juv.
Familia Equidae		
<i>Equus cf. mosbachensis</i>	2005/41	DP3-4 d
	2005/32	DP3-4 d
	2007/822	Fto. P2 ó DP2 d
	2005/31	m1-2 d
	2007/823	Fto. cintura pélvica
	2007/824	Mtt. III d prox.
	2005/40	Mt. III d dis.
	2007/825	Fto. Mt. III dis.
	2007/826	Fto. Mt. III dis.
	2007/827	Mt. III s dis.
	2007/828	Mt. III dis.
	2007/829	Mtt. IV d
	2005/36	Astrágalo d
	2005/37	Astrágalo d
	2005/33	Astrágalo d
	2005/35	Astrágalo d
	2005/34	Astrágalo d
	2007/830	Astrágalo d
	2005/38	Astrágalo s
	2005/39	Astrágalo s
	2005/42	Calcáneo d
	2005/43	Calcáneo d
	2007/831	Calcáneo d
	2007/832	Fto. calcáneo

TAXÓN	SIGLA MPZ	ELEMENTO
Orden Artiodactyla		
Familia Cervidae		
<i>Cervus elaphus</i>	2007/882	Max. s (M1-M3)
	2005/45	M12 d
	2005/49	M12 d
	2005/50	M12 s
	2005/44	M1 d
	2005/46	M1 s
	2007/833	M1 s
	2007/834	Fto. M1-2
	2005/52	P4 d
	2005/47	P4 s
	2005/48	P3 d
	2005/51	m2 d
	2005/65	p2 d
	2005/54	Fto. diente
Familia Bovidae		
Subfamilia Caprinae		
<i>Capra</i> sp.	2005/64	M3 s
	2007/835	M3 d
	2007/836	M1-2 d
	2007/837	M1-2 d
	2007/838	M1-2 d
	2007/839	M1-2 s
	2007/840	M1-2 s
	2007/841	M1-2 s
	2007/842	M1-2 s
	2007/843	M1-2 s
	2005/53	M1 s
	2007/844	P4 d
	2007/845	P4 s
	2007/846	P4 s
	2007/847	P3 d
	2007/848	P3 d
	2007/849	P3 s
	2007/850	P2 d
	2007/851	P2 s
	2007/852	m3 d
	2007/853	m2 d
	2007/854	m1 d

TAXÓN	SIGLA MPZ	ELEMENTO
	2007/855	m1 s
	2005/66	m1-2 d
	2007/856	m1 s
	2007/857	m1 s
	2007/858	p4 d
	2005/68	p4 d
	2007/859	i
	2005/69	Fto. diente
	2005/70	Fto. diente
	2005/71	Fto. diente
	2005/67	Astrágalo d
	2005/19	Cuneiforme s
<hr/>		
Subfamilia Bovinae		
<i>Bison cf. schoetensacki</i>	2005/60	M 3 s
	2005/57	M12 d
	2005/56	M12 s
	2007/860	M12 s
	2007/861	Fto. M1-2
	2005/72	M1 s
	2005/73	M1 s
	2005/59	P3 s
	2007/862	P4 s
	2005/59	P3 s
	2007/863	P3 s
	2005/58	D2-3
	2007/864	Fto. diente
	2005/29	Radio d
	2007/865	Radio s
	2007/866	Radio s
	2007/867	Mtc. III d prox.
	2007/868	Mtc. III d prox.
	2005/61	Mtc. III s dis.
	2007/869	Tibia s
	2007/870	Astrágalo d
	2007/871	Astrágalo d
	2007/872	Astrágalo d
	2007/873	Astrágalo s
	2007/874	Astrágalo s

TAXÓN	SIGLA MPZ	ELEMENTO
	2007/875	Fto. cuneiforme
	2007/876	Escafocuboides d
	2007/877	Escafocuboides d
	2007/878	Escafocuboides d
	2007/879	Mtt. III s prox.
	2007/880	Mtt. III s dis.
	2007/881	Fto. Mt dis.
Orden Eulipotyphla		
<i>Erinaceus europaeus</i>	2005/74	M1 d
Orden Chiroptera		
<i>Rhinolophus</i> sp.	2005/82	m1 s
Orden Rodentia		
<i>Allocricetus</i> sp.	2005/75	M1s
<i>Apodemus</i> sp.	2005/76	m2 s
	2005/77	m2 s
	2005/78	m2 s
	2005/79	M2 d
	2005/80	M2 d
	2005/81	M3 d

Abreviaturas utilizadas: Md.: mandíbula; Max.: maxilar; Fto.: fragmento; Mt.: metápodo; Mtt.: metatarso; Mtc.: metacarpo.

El cuarto premolar inferior (p4) está constituido por dos cúspides principales, una central de mayor tamaño y otra individualizada y grande por su cara posterior. Por su cara anterior presenta una tercera cúspide pequeña y no individualizada.

Discusión

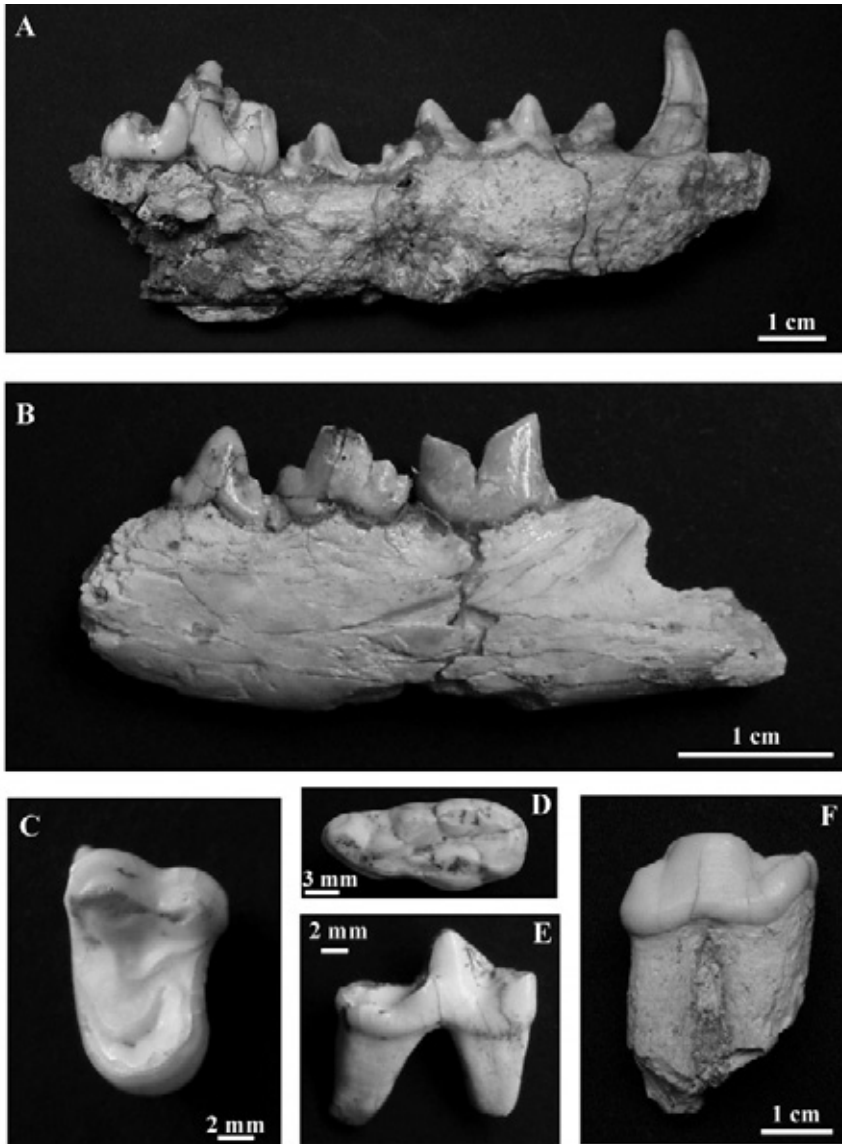
Los caracteres morfológicos descritos, siguiendo a WERDELIN y SOLOUNIAS (1991), permiten asignar estos restos a *Crocuta crocuta*.

Familia CANIDAE Gray, 1821

Género *Canis* Linnaeus, 1758

Canis lupus Linnaeus, 1758

LÁMINA I, figura A



Lám. I. A: vista lingual de mandíbula izquierda de *Canis lupus*, ejemplar MPZ 2005/1. B: vista labial de mandíbula izquierda de *Felis silvestris*, ejemplar MPZ 2007/812. C: vista oclusal de segundo molar superior izquierdo de *Vulpes cf. vulpes*, ejemplar MPZ 2005/7. D: vista oclusal de muela carnífera inferior izquierda de *Meles meles*, ejemplar MPZ 2005/20. E: vista lingual de muela carnífera inferior izquierda de *Vulpes cf. vulpes*, ejemplar MPZ 2005/8. F: vista labial de cuarto premolar inferior derecho de *Crocuta crocuta*, ejemplar MPZ 2005/13.

Descripción

El cuarto premolar inferior (p4) presenta dos cúspides distales con respecto al protocónido y es más robusto que los otros premolares. La primera de las cúspides más próxima al protocónido está muy desarrollada, mientras que la segunda no llega a ser una cúspide totalmente independiente ya que aparentemente se une con el cíngulo posterior. Este cíngulo recorre el cuarto linguo-distal del diente. El premolar se solapa lateralmente con el primer molar de modo que en vista lingual la segunda cúspide posterior no se observa.

La muela carnífera inferior (m1) es una pieza fundamental en la diagnosis de este taxón. Presenta un protocónido redondeado, un paracónido bajo y ambas cúspides son verticales. El metacónido presenta una cúspide redondeada y llega a alcanzar el punto medio de la altura del molar. Esta cúspide parece estar ligeramente apoyada en el protocónido y algo retrasada con respecto a este último. El talónido está compuesto por dos cúspides: el hipocónido en posición labial y el entocónido en posición lingual. No presenta hipoconúlido.

Discusión

Los caracteres descritos indican que este material se puede asignar a la línea de cánidos descrita como *Canis mosbachensis-Canis lupus*. Para entender la atribución sistemática del material de CHO hay que conocer primero las características de la línea *mosbachensis-lupus* a la que se asignan estos restos.

Algunos autores consideran que a partir de un grupo ancestral surge el clado *C. mosbachensis-C. lupus*. En términos generales se acepta que *C. etruscus* evolucionaría a una forma pequeña, *C. mosbachensis*, que iría experimentando un incremento de tamaño hacia el auténtico lobo, *C. lupus*, durante el Pleistoceno Medio (KURTÉN, 1968; ROOK & TORRE, 1996). La sistemática de los lobos durante el Pleistoceno es un tema que todavía está sujeto a debate, aunque está bastante aceptada por la mayoría la especie *C. mosbachensis*, que representa una forma de "lobo pequeño" que estaría presente en Europa durante el Pleistoceno Inferior (BONIFAY, 1971 y GARCÍA, 2001).

Se han observado una serie de modelos morfológicos generales que permiten separar *C. mosbachensis* de *C. lupus* (GARCÍA, 2001) que describimos a continuación.

Estos modelos morfológicos se han observado en dos de las piezas más diagnósticas dentro del género *Canis*, la carnífera inferior (m1) y el cuarto premolar inferior (p4).

La morfología de la carnífera inferior (m1), con un protocónido redondeado paracónido bajo y ambas cúspides en posición vertical, y del cuarto premolar inferior (p4) con un protocónido redondeado (*sensu* GARCÍA, 2001), corresponde con el modelo morfológico de *Canis lupus*. Sin embargo, la ausencia del hipoconúlido (pequeña cúspide posterior que suele presentar en *C. lupus*, pero no es frecuente en *C. etruscus* y *C. mosbachensis*) en la carnífera inferior, y la presencia de una pequeña cúspide accesoria en el cuarto premolar inferior, que no llega a ser independiente pero tampoco llega a estar fusionada con el cíngulo posterior (en *C. mosbachensis* la pequeña cúspide accesoria es

independiente mientras que en *C. lupus* apenas se aprecia porque el cíngulo posterior se hace más grueso produciéndose una fusión con esta cúspide) podría ser interpretado como rasgos transicionales entre *C. mosbachensis* y *C. lupus*.

Esta forma transicional entre ambas especies ha sido reconocida en numerosos yacimientos europeos del Pleistoceno Medio. Se han llegado a definir nuevas subespecies, como *C. lupus lunellensis* (BONIFAY, 1971) que se distingue de los lobos actuales por su menor talla. Anteriormente, estos pequeños lobos ya habían sido incluidos junto a otros del estadio Holstein bajo el nombre subespecífico de *Canis lupus mosbachensis* (KURTÉN, 1968).

Parece existir un gradiente de talla desde los pequeños *C. mosbachensis* hasta los "auténticos lobos" *C. lupus*. Esta menor talla también ha podido observarse en el lobo estudiado en este trabajo, y ha sido comparada con los datos de otros yacimientos donde se cita esta forma transicional (fig. 5).

El cánido de CHO presenta unas características comparables con la especie *C. lupus*, con algunas peculiaridades que difieren del lobo que encontramos en el Pleistoceno Superior que en términos generales es de mayor tamaño. Por esto último, consideramos que se trata de una de las primeras formas de lobo, *Canis lupus*, de reducida talla y con algunos rasgos transicionales, similar al que se encuentra en otros yacimientos del Pleistoceno Medio.

Género *Vulpes* Frisch, 1775

Especie *Vulpes* cf. *vulpes* (Linnaeus, 1758)

LÁMINA I, figuras C y E

Descripción

El segundo molar superior (M2) está muy desgastado. Por su lado labial presenta las dos cúspides principales, metacono y paracono, siendo esta última ligeramente mayor. Se observa un cíngulo que rodea a estas cúspides que se hace más débil por su lado lingual. El hipocono llega a verse ligeramente por su lado lingual como una suave cúspide, mientras que el protocono no se ve debido al desgaste que presenta el molar.

La muela carnífera inferior (m1) presenta un protocónido alto y por su lado anterior está el paracónido que forma con éste un ángulo fuerte. Por su lado interno se observa un metacónido bien desarrollado. El talónido presenta un importante desgaste, aunque se llegan a apreciar el entocónido e hipocónido. No se observa ninguna cúspide adicional por su lado interno.

Discusión

En el estudio sistemático se han considerado las dos especies de zorros que encontramos en los yacimientos pleistocenos, *Vulpes praeglacialis* Kormos, 1932, y *Vulpes vulpes* Linnaeus, 1758. La primera de las dos especies citadas inicialmente fue incluida dentro del género *Alopex*, principalmente por presentar una talla pequeña similar a la de los actuales zorros árticos, *Alopex lagopus*. El

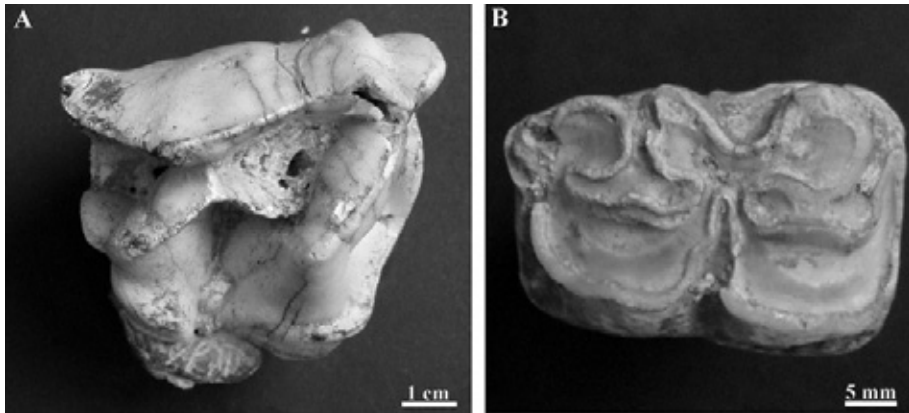


Fig. 4. A: vista oclusal de molar superior (M1-2) derecho de *Stephanorhinus hemitoechus*, ejemplar MPZ 2005/21. B: vista oclusal de molar inferior (m1-2) derecho de *Equus cf. mosbachensis*, ejemplar MPZ 2005/31.

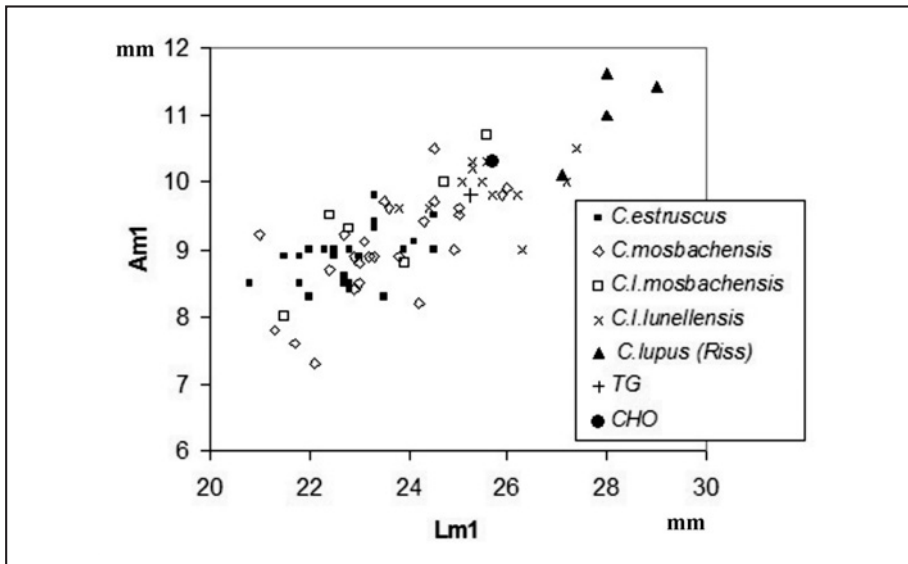


Fig. 5. Análisis bivariente entre la longitud (Lm1) y la anchura (Am1) de la muela carnicera inferior comparando diferentes especies y subespecies de cánidos del Pleistoceno. Datos de *Canis estruscus* de los yacimientos de l'Escale (BONIFAY, 1971) y Venta Micena (MARTÍNEZ-NAVARRO, 1992); *Canis mosbachensis* del yacimiento de l'Escale (BONIFAY, 1971); *Canis lupus lunellensis* del yacimiento de Lunel-Viel (BONIFAY, 1971); *Canis lupus mosbachensis* de los yacimientos de Westbury, Châtillon-Saint-Jean y Mosbach (BISHOP, 1982); *Canis lupus* (Riss, P. Superior), de los yacimientos de Châtillon-Saint-Jean, Mars y Lazaret (BONIFAY, 1971) y *Canis lupus* del yacimiento de Trinchera Galería (TG) (GARCÍA y ARSUGA, 1997).

autor que la definió establecía una serie de rasgos que diferenciaban ambas especies. Según BONIFAY (1971) los rasgos con los que KORMOS (1932) diferenciaba *Alopex praeglacialis* de *Alopex lagopus* se podían incluir dentro del género *Vulpes*, por lo que *A. praeglacialis* pasó a incluirse dentro de este último género, manteniendo la denominación dada por el autor para el nombre de la especie.

Uno de los caracteres diagnósticos de *V. praeglacialis* es la presencia de una cúspide suplementaria entre el metacónido y el entocónido por el lado lingual del talónido de la carnícera inferior. Este rasgo no está presente en *Alopex lagopus* aunque se suele encontrar en el actual *V. vulpes*. Otro de los rasgos diagnósticos de *V. praeglacialis* es que presenta unos molares trituradores (m2, m3, M1 y M2) muy desarrollados, rasgo que es general para el género *Vulpes* y difiere del zorro ártico *Alopex lagopus*.

La carnícera inferior no presenta ninguna cúspide suplementaria entre el metacónido y el entocónido, aunque el desgaste que presenta el molar puede haber eliminado parte de esta cúspide. El único molar superior presenta un aspecto triturador al igual que los zorros actuales *V. vulpes*.

En relación con los datos de medidas, la carnícera inferior presenta unos valores bajos de longitud y anchura (MPZ 2005/8: Lm1: 13,6 mm; Am1: 5,5 mm) no llegando a alcanzar los valores mínimos para la especie *Vulpes vulpes* actual aunque se aproxima a los valores de esta misma especie en yacimientos del Pleistoceno Medio como Lunel-Viel o L'Escaie. Por otro lado, el segundo molar superior presenta unos valores (MPZ 2005/7: LM2: 6 cm; AM2: 8,6 cm) que entran dentro del rango de variación de la especie *V. vulpes*.

En términos generales, tanto las características como los valores de medidas difieren de *V. praeglacialis*, siendo más comparables con la especie *Vulpes vulpes* presente en otros yacimientos del Pleistoceno Medio. Dado que el material recuperado es muy reducido y no permite una completa comparación, los restos son determinados de forma previa en vista de poder recuperar más material como *Vulpes* cf. *vulpes*.

Familia FELIDAE Fisher, 1817

Subfamilia FELIDAE Fisher, 1817

Género *Felis* Linnaeus, 1758

Especie *Felis silvestris* Schreber, 1775

LÁMINA I, figura B

Descripción

El tercer premolar inferior (p3) muestra una cúspide principal, el protocónido, y dos cúspides incipientes, una anterior y otra posterior.

El cuarto premolar inferior (p4) presenta una cúspide principal, el protocónido, que comparando su altura con la carnícera (m1) llega a ser considerable. A ambos lados de esta cúspide central

se observan otras dos secundarias, una por su lado anterior basal y baja, y otra en el lado posterior de menor tamaño rodeada por un ligero cíngulo basal.

La muela carnífera inferior (m1) es bicúspide, ya que está formada por el paracónido y el protocónido. No se observa ningún cíngulo basal ni metacónido.

Discusión

Los restos de *Felis silvestris* son comunes en depósitos cársticos del Pleistoceno Superior, pero son muy raros y aparecen de forma más esporádica en yacimientos del Pleistoceno Medio.

Existen dos formas de gatos durante el Pleistoceno en Europa, *Felis lunensis* Martelli, 1906, está presente durante el Villafranquiense tardío (Pleistoceno Inferior) y se considera la especie ancestral de la que deriva la especie *Felis silvestris* Schreber, 1775 (KURTÉN, 1965).

Los rasgos distintivos entre *F. lunensis* y *F. silvestris* según KURTÉN (1965) son los siguientes:

- Diastema entre el canino y el premolar a menudo corto en *F. lunensis*, comparado con *F. silvestris*.
- El tercer premolar (p3) de *F. lunensis* se caracteriza por la completa ausencia de la cúspide posterior, mientras que en *F. silvestris* siempre está presente.
- El cuarto premolar (p4) en *F. lunensis* presenta una mayor altura del protocono en relación con el acortamiento antero-posterior del diámetro de la cúspide, un débil desarrollo de las cúspides accesorias anterior y posterior y una cúspide posterior de pequeña talla en comparación con *F. silvestris*.

La mandíbula (MPZ 2005/12) presenta un diastema largo (7,6 mm) en comparación con las medidas que presenta *F. lunensis*. El p3 presenta una pequeña cúspide posterior de reducido tamaño y el p4 presenta dos cúspides accesorias, siendo la posterior de pequeño tamaño. Las características mencionadas, siguiendo a KURTÉN (1965), indican que se trata de *F. silvestris*.

Familia MUSTELIDAE G. Fischer, 1817

Subfamilia MELINAE Bonaparte, 1838

Género *Meles* Boddaert, 1758

Especie *Meles meles* Linnaeus, 1758

LÁMINA I, figura D

Descripción

La muela carnífera inferior (m1) presenta el trigónido compuesto por el paracónido, protocónido y metacónido. El metacónido presenta un importante desarrollo, similar al que presenta el protocónido, sin embargo el paracónido, aunque presenta un desarrollo similar en cuanto a su an-

chura y longitud, se sitúa por debajo de las anteriores cúspides. El talónido presenta tres cúspides, el entocónido por su lado lingual, hipocónido por su lado labial y, entre ambos, el hipoconúlido con morfología subcircular y mayor desarrollo por su lado labial.

Discusión

Las características que presenta la carnícera inferior se aproximan a la especie *Meles meles* y las mediadas comparadas entran dentro del rango de variación que puede presentar esta especie.

Orden PERISSODACTYLA Owen, 1848

Familia RHINOCEROTIDAE Owen, 1845

Stephanorhinus hemitoechus (Falconer, 1868)

Figura 4A

Descripción

Esqueleto craneal

Los molares superiores (M1-2) presentan por su lado labial un perfil del ectolofa ondulado. La ondulación más fuerte es la del paracono (pliegue del paracono), que es ancho y prominente. En vista oclusal se observa un gancho (*crochet*) simple y el crista y el antiganchos (*anticrochet*) están ausentes. La foseta mesial está cerrada (comentario: en nuestro caso al estar el molar completo sin desgaste vemos la foseta cerrada, pero es un carácter que varía en función del grado de desgaste que presente el molar).

Por su lado mesial tiene un cíngulo basal muy claro y hacia la parte más lingual puede observarse el estrangulamiento del protocono que se hace más fuerte hacia la base de la corona. El valle medial se abre hacia su lado lingual y presenta una morfología en V clara. Este valle es relativamente ancho en comparación con el que muestran otras especies.

El cíngulo mesial se pierde por su lado lingual y a la salida del valle medial aparece un pequeño tubérculo.

Esqueleto post-craneal

Los húmeros están incompletos. En vista anterior la fosa coronoidea es alargada y poco profunda. En vista posterior presentan una fosa oleocraneana relativamente ancha, no muy profunda y con una morfología triangular. La diáfisis presenta sección medial triangular.

La tibia en vista distal presenta un importante desarrollo transversal. Los ejes mayores de las facetas de articulación (considerándolas como una elipse) para el maleólo del astrágalo son cóncavas y presentan una orientación antero-posterior. La faceta articular medial presenta una morfología elipsoidal profunda, mientras que la faceta articular lateral presenta una morfología cuadrangular o trapecoidal, menos profunda en comparación con la anterior.

En vista anterior el astrágalo presenta una polea ancha y profunda. El labio lateral de la polea presenta mayor extensión que el labio medial. El borde medial de esta polea presenta mayor pendiente en comparación con el borde lateral. La articulación distal está bien separada de la polea formando un sillón profundo en su parte medial. El borde de la articulación distal es casi rectilíneo y no se observan ni la faceta navicular ni la cuboidea debido a la pobre conservación de la mayoría de los restos. De los dos lóbulos que forman la polea se observa una clara divergencia entre ellos, siendo el medial más corto y con mayor diámetro antero-posterior que el lateral. En vista posterior de las facetas que articulan con el calcáneo se preserva la faceta articular proximal-lateral, que es ancha y corta, y la faceta medial-distal, que se alarga hacia el borde inferior externo presentando relieve en su zona más central. La faceta latero-distal presenta una forma elíptica y no parece estar en contacto con la faceta medial-distal. En vista medial se observa el tubérculo distal masivo en posición próximo al borde articular distal posterior. La superficie articular distal es ancha. En vista lateral apenas se aprecia la faceta articular debido a la pobre conservación, pero sí se observa una ligera prolongación posterior a modo de lengüeta.

Discusión

El clado considerado en este estudio es el *Stephanorhinus* y *Coelodonta*, que posiblemente sea un grupo monofilético (CERDEÑO, 1995; MADE, 2005).

Las características que presentan los molares nos indican que el rinoceronte pertenece al género *Stephanorhinus*, descartando que se trate de *Coelodonta*, que difiere de aquel en que tiene un esmalte muy rugoso y presenta mucho cemento.

El tamaño de los molares, así como el pliegue del paracono fuerte, hace descartar que se trate de *S. etruscus*, que en general es de menor tamaño, así como de *S. kirchbergensis*, que al contrario es de mayor tamaño y carece de un perfil de la muralla externa (*ectolofa*) fuertemente ondulado. Por el tamaño, *S. hundsheimensis* y *S. hemitoechus* son indiferenciables (LACOMBAT, 2003), presentando unas dimensiones muy próximas. Una de las características de *S. hundsheimensis* es que presenta un cíngulo lingual (LACOMBAT, 2003) que persiste para las especies del Pleistoceno Medio, y en ocasiones queda reducido a un pequeño tubérculo (GUÉRIN, 2003). En el material estudiado este tubérculo está presente a la salida del valle medial, pero estos pueden también estar presentes en algunos casos de *S. hemitoechus* en yacimientos de la Península Ibérica (CERDEÑO, 1990). La presencia de un fuerte *crochet*, pliegue del paracono ancho y prominente y estrangulamiento del protocono visible, indica que se trata de *S. hemitoechus*.

Del estudio morfológico y de la comparación de las medias con las de otros yacimientos, se deduce que en general tanto los molares como los restos del esqueleto post-craneal son de pequeño tamaño (RAMÓN DEL RÍO y CUENCA-BESCÓS, 2005), estando siempre próximas a los valores mínimos dados por GUÉRIN (1980). Este menor tamaño puede estar relacionado con un estadio evolutivo más primitivo, ya que en términos generales parece haber un aumento de anchura y de talla de las muestras más antiguas a las más modernas (GUÉRIN, 1980).

Varios autores, como AZZAROLI (1962), GUÉRIN (1980) FORTELIUS (1993) y más recientemente LACOMBAT (2003), señalan diferentes estadios en la evolución de los caracteres de *S. hemitoechus*, tanto en el grado de hipsodancia, como en la morfología del cráneo y en la robustez de los huesos largos. En términos generales, estos autores observan un aumento de la talla cuando comparan niveles antiguos en relación con niveles más modernos. Este incremento de robustez parece haber ocurrido al final del Pleistoceno Medio (MADE, 2005). En la Península Ibérica se ha observado un aumento de robustez desde los restos más antiguos como los de Atapuerca a los del Pleistoceno Medio final – Pleistoceno Superior (CERDEÑO, 1990).

Por otro lado, hay que tener en cuenta que algunos de los restos podrían pertenecer a individuos juveniles, ya que los molares descritos apenas presentan desgaste, lo que indicaría que alguno de los individuos podría ser relativamente juvenil. Con respecto a esto último hay que añadir que en el caso de los astrágalos parece haber una relación entre la edad del individuo y la anchura de estos (MADE, 2000).

La menor talla observada en los restos de *S. hemitoechus* de CHO podría estar relacionada con un estadio evolutivo primitivo de esta especie, presente en el Pleistoceno Medio, y menos robusta que la forma del final del Pleistoceno Medio y Pleistoceno Superior.

Familia EQUIDAE Gray, 1821

Género *Equus* Linnaeus, 1758

Equus cf. *mosbachensis* Reichenau, 1915

Figura 4B

Descripción

El molar inferior derecho (MPZ 2004/31) presenta un linguaflexido ligeramente abierto y con una morfología en "U", el ectoflexido entra en istmo sin atravesarlo del todo ni contactar con el linguaflexido y presenta una pequeña ondulación. El metacónido es redondeado y el metastilido anguloso.

Discusión

En términos generales, tanto la talla como la morfología corresponden a un *Equus* de tipo "caballino". Las características morfológicas observadas en la dentición son comparables con las que presentan los caballos del grupo "mosbachensis" (LANGLOIS, 2004). También el índice del linguaflexido, del molar inferior, entra dentro de la variabilidad de este grupo de caballos en Europa.

Los caballos pertenecientes al gr. *E. "mosbachensis"* han sido interpretados como las primeras formas de "caballus". Estas primeras formas caballinas aparecieron al inicio del Pleistoceno Medio y en la bibliografía las encontramos con diferentes acepciones nomenclaturales, bien como *Equus caballus* tipo *mosbachensis* (BONADONNA y ALBERDI, 1987) o bien como la subespecie *Equus caballus mosbachensis* por presentar unas características y un tamaño comparable con el caballo del yaci-

miento alemán de Mosbach (AZZAROLI, 1966). Esta forma de caballo está presente en numerosos yacimientos del Pleistoceno Medio, y aunque actualmente la especie *Equus mosbachensis* parece estar aceptada por la mayoría de los autores, al igual que otras especies asociadas a estas primeras formas de caballinos, el conocimiento que se tiene de los caballos de este periodo es muy escaso y continúa siendo un tema de discusión.

Del estudio de los restos de caballos recuperados podemos concluir que se trata de una forma de *Equus* típicamente "caballina" con características morfológicas y de talla similares a *Equus mosbachensis*. Los restos se pueden identificar, siguiendo la revisión reciente de LANGLOIS (2004), como *Equus* cf. del grupo "mosbachensis" o bien como *Equus* cf. *mosbachensis*.

Orden ARTIODACTYLA

Familia BOVIDAE Gray, 1821

Subfamilia BOVINAE Gray, 1821

Género *Bison* Smith, 1827

LÁMINA II, figuras F, G, H, I

Comentario

En paleontología las diferencias entre los géneros *Bos* y *Bison* es un tema muy discutido. Esto se debe a que en muchas ocasiones no se dispone de cráneos completos que permitan analizar los rasgos diagnósticos que separan cada uno de los géneros. A la hora de realizar el estudio de los restos de grandes bóvidos hemos seguido aquellos criterios establecidos por algunos autores (BRUGAL, 1985; SALA, 1986) que consideramos son más fiables para diferenciar los géneros *Bos* y *Bison*.

El esquema general que presentan los molares superiores estudiados, con la presencia de un ligero abultamiento en la base de la corona, la morfología del esmalte interno subrectangular y en forma de "U" (cuando el desgaste es avanzado) y un aspecto menos columnar e hipsodonto son características relacionadas con el género *Bison* (SALA, 1986; MOULLÉ, 1992).

En cuanto al esqueleto post-craneal, los caracteres observados como la depresión entre las facetas articulares proximales en el radio poco profunda y ancha, la mayor anchura de los metápodos a la altura de la línea de sutura de la epífisis distal, así como muchos otros caracteres observados en diferentes elementos del esqueleto post-craneal son caracteres atribuidos al género *Bison* (SALA, 1986; MOULLÉ, 1992).

Bison cf. *schoetensacki* Freudenber, 1910

Descripción

El M3 se diferencia de los otros molares por una suave ala metastilaria visible por su lado posterior que se acentúa ligeramente hacia la base de la corona. Los molares superiores M2 y M3 presen-

tan un aspecto general más columnar que los M1, que a diferencia de estos últimos presentan unos bordes laterales ligeramente divergentes. Todos los molares superiores por su lado vestibular presentan los estilos bien desarrollados. Por su lado lingual presentan un entoestilo que empieza a ser visible a partir de los dos tercios de altura de la corona. En vista oclusal la morfología general que presentan es rectangular, pasando a una morfología más cuadrangular conforme es mayor el desgaste. El dibujo que presenta el esmalte alrededor de la cavidad interna es subrectangular y los pliegues del esmalte son simples, presentando una forma en "U" que es más visible cuanto mayor es el desgaste del molar. Se observa un ligero abultamiento en la base de la corona.

Los premolares superiores están constituidos por un único lóbulo principal. El P3 y P4 presentan un metástilo muy fuerte que se introduce hacia el interior del premolar, observándose una morfología en "U" cuando presenta un avanzado desgaste. El P4 se diferencia claramente de los anteriores premolares por un mayor desarrollo transversal, siendo por tanto más ancho. La morfología general del esmalte de la cavidad interna de los premolares es subrectangular a excepción del P2, que presenta diversos pliegues dando una morfología más irregular y compleja.

El m3 está constituido por tres lóbulos. Entre los dos lóbulos principales, el protocónido y el hipoconido, está presente el ectoestilido mientras que entre el hipocono y el hipoconúlido o talónido no hay ninguna columna accesoria. El valle de entrada que forman el hipoconúlido y el hipoconido por su lado vestibular es anguloso. En la base de la corona se observa un abultamiento que es más visible en el hipoconúlido.

Discusión

Las distintas especies que existen dentro del género *Bison* son difíciles de identificar si no se tiene una parte importante del cráneo. En términos generales, en el Pleistoceno las dos especies que están presentes son *Bison schoetensacki* y *Bison priscus*. Las principales diferencias entre ambas especies encontradas en el esqueleto post-carneal están relacionadas con la gracilidad. *Bison schoetensacki* es considerada una especie de pequeño tamaño y más grácil que *Bison priscus*. En el estudio comparativo de las medidas del esqueleto post-craneal se observa que los restos se aproximan a los de *B. schoetensacki*, no llegando a alcanzar en la mayoría de los casos las medidas que presenta la especie *B. priscus*.

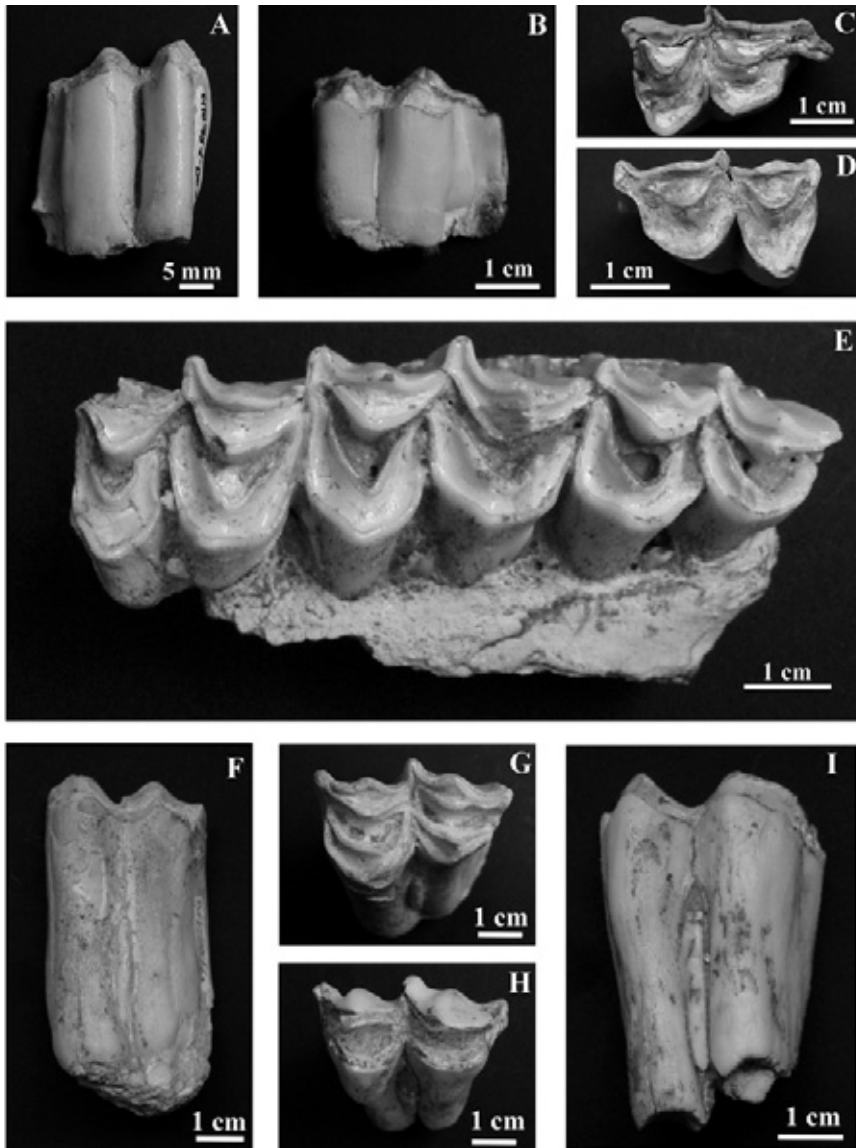
Los resultados obtenidos del estudio morfológico nos permiten asignar los restos al género *Bison*. En cuanto a la determinación específica, los datos morfométricos son comparables con *B. schoetensacki*. Al no disponer de partes del esqueleto craneal más diagnósticas decidimos asignar los restos como *Bison* cf. *schoetensacki*.

Subfamilia CAPRINAE Gray, 1821

Género *Capra* Linnaeus, 1758

Capra sp.

LÁMINA II, figuras A, B, C, D



Lám. II. A y D: vista lingual y oclusal respectivamente de tercer molar superior izquierdo de *Capra* sp., ejemplar MPZ 2007/835. B y C: vista lingual y oclusal respectivamente de tercer molar superior derecho de *Capra* sp., ejemplar MPZ 2005/64. E: vista oclusal maxilar izquierdo (M1-M3) de *Cervus elaphus* ssp., ejemplar MPZ 2007/882. F y G: vista lingual y oclusal respectivamente de tercer molar superior izquierdo de *Bison* cf. *schoetensacki*, ejemplar MPZ 2005/60. H e I: vista oclusal y lingual respectivamente de molar superior izquierdo de *Bison* cf. *schoetensacki*, ejemplar MPZ 2007/860.

Descripción

El tercer molar superior (M3: MPZ 2005/64) en vista vestibular presenta unos estilos salientes, las superficies interstilaras desigual y un metástilo que se hace divergente hacia la base. En vista lingual el metástilo es aparentemente subvertical y el ala metastilaria muy desarrollada. En esta misma vista, el lóbulo posterior en la base y hacia el ala metastilaria presenta un importante engrosamiento, generando un abultamiento en este sector. En vista distal se observa el abultamiento del lóbulo posterior en la zona basal anteriormente y un metástilo muy extendido. En vista medial se observa una ligera torsión del lóbulo anterior en la parte basal. Por otro lado, el tercer molar superior (M3: MPZ 2007/835) presenta unas características que difieren de las del anterior descrito. Éste en vista vestibular presenta unos estilos más bien finos y un metástilo subvertical que se engorda hacia la parte basal para desdoblarse ligeramente dando un ala metastilaria poco desarrollada. En vista lingual el metástilo se ensancha hacia la base para formar un ala metastilaria poco desarrollada y en vista medial la torsión que veíamos en el caso anterior es casi inapreciable.

Discusión

El M3 es una pieza muy diagnóstica dentro del género *Capra*. En los dos M3 estudiados se han encontrado algunas diferencias morfológicas que son atribuidas a la gran variabilidad morfológica que presentan los caprinos, además de las diferencias relacionadas con el dimorfismo sexual.

La principal característica observada en el M3 relacionada con el género *Capra* es la presencia de un ala metastilaria individualizada. Por otro lado este presenta en el lóbulo anterior en vista medial una torsión que es visible en el género *Capra* y en menor medida en el género *Ovis*, pero que sin embargo no se observa en *Hemitragus* (MOULLE *et al.*, 2004).

Del mismo modo en los molares superiores los estilos están bien desarrollados y presentan un aspecto menos columnar que difiere del género *Hemitragus*, donde la cara lingual permanece paralela al eje longitudinal, adquiriendo así un aspecto muy columnar (BONIFAY, 1975). La presencia de un ala metastilaria, los estilos fuertes y el aspecto no tan columnar como en el género *Hemitragus*, son rasgos característicos del género *Capra*.

La asignación de los restos al género *Capra* no presenta lugar a dudas, sin embargo la asignación específica resulta complicada si además añadimos el desconocimiento actual de las características del género *Capra* para yacimientos del Pleistoceno Medio de la Península Ibérica.

Las características que presenta el M3 (MPZ 2005/64), superficie interstilaria distal más ancha que la mesial y el ala metastilaria muy saliente, que provoca que el metástilo se ensanche mostrando una divergencia hacia la base de la corona, son comparables con la línea de *Capra i. ibex* (CRÉGUT-BONNOURE, 1992a). Sin embargo, el otro M3 analizado presenta un ala metastilaria poco desarrollada que por otro lado sería más comparable con la línea caucásica (CRÉGUT-BONNOURE, 1992b). Es por todo ello que, por el momento, se decide dejar la asignación específica en nomenclatura abierta como *Capra* sp.

Familia CERVIDAE Goldfuss, 1820

Género *Cervus* Linnaeus, 1758

Cervus elaphus ssp. Linnaeus, 1758

LÁMINA II, figura E

Descripción

Los molares superiores presentan por su lado labial un parástilo y mesóstilo muy salientes y desarrollados que se disponen perpendicularmente con respecto a la muralla externa. El pilar del paracono está más desarrollado que el del metacono. Los lóbulos están ligeramente inclinados hacia atrás. En vista lingual, el cíngulo está muy desarrollado presentando mayor desarrollo en los lados anterior y posterior pero pudiendo llegar a seguirlo a lo largo del lado lingual. En la parte interna entre los dos lóbulos está el entoestilo. En vista oclusal algunos molares presentan un espón en la foseta posterior y también se ha observado el desarrollo de un pliegue protoconal en la foseta anterior que puede llegar a estar muy desarrollado.

El P4 por su lado labial presenta un metástilo muy desarrollado que se dirige hacia delante. El parástilo en comparación con el anterior está menos desarrollado y se dirige hacia atrás. Por su lado lingual se observa hacia la mitad una estrecha ranura. En vista oclusal la foseta presenta un pliegue en su lado lingual.

Los molares inferiores m1-m2 tienen los lóbulos externos girados hacia atrás. Por el lado labial presentan un ectoestilido y el cíngulo está reducido al lado anterior y posterior.

En el cuarto premolar inferior (p4) el metaconido en vista lingual es alto en relación con el parástilo y el hipostilido. El paracónido no se observa al haber desaparecido por desgastarse. En vista oclusal el ala anterior del hipocónido se ha fusionado con el entocónido. El tercer premolar tiene una morfología similar solo que el paracónido se separa y se observa con claridad.

En vista lingual el segundo premolar (p2) tiene el parastilido más desarrollado que el hipostilido. El metaconido es más alto que los anteriores.

Discusión

Los caracteres observados en la dentición, como la ausencia de cíngulo posterior por el lado lingual y la presencia de una estrecha ranura lingual en el P4 entre otros, son característicos de *Cervus elaphus* (LISTER, 1996). Por otro lado los datos de medidas se ajustan a los que presenta esta especie en otros yacimientos europeos de edad similar a CHO.

La determinación subspecífica de los restos cuando no se disponen de astas es muy difícil y por el momento no se tienen suficientes criterios para realizar esta determinación por lo que asignamos los restos a *Cervus elaphus* ssp.

BIOESTRATIGRAFÍA

Las especies que están representadas en la CHO muestran una asociación faunística típica del Pleistoceno Medio (CUENCA-BESCÓS *et al.*, 2005b; RAMÓN DEL RÍO y CUENCA-BESCÓS, 2005).

En este apartado se ha realizado un estudio bioestratigráfico, estableciendo relaciones a partir de caracteres morfológicos y morfométricos, en aquellas especies que presentan mayor valor bioestratigráfico.

Los rinocerontes han sido durante mucho tiempo utilizados como datadores biocronológicos a partir de la bioestratigrafía propuesta por GUÉRIN (1980, 1982). En este trabajo la utilización de estas biozonas ha sido considerada como una herramienta de aproximación bioestratigráfica, ya que se considera que la utilización de una sola especie para datar bioestratigráficamente nos puede dar una aproximación de la posición estratigráfica del yacimiento, pero no es totalmente representativo.

El estudio sistemático de *Stephanorhinus hemitoechus* muestra que podría tratarse de un estadio primitivo de esta especie, lo que algunos autores denominan la subespecie *Stephanorhinus hemitoechus falconeri* (AZZAROLI, 1962) típica del Pleistoceno Medio y menos robusta que la del Pleistoceno Superior. Este estadio evolutivo según GUÉRIN (1982) abarcaría las biozonas 23 y 24 aproximadamente, y siguiendo a MADE (2005) estaría presente desde hace 500 ka hasta 250 ka, pasando posteriormente a tener una forma más robusta que *S. hemitoechus*.

En la Península Ibérica esta especie de rinoceronte está presente en los niveles del yacimiento de Trinchera Galería (GII y GIII) de Atapuerca. Estos niveles han sido asignados en base a la presencia de *S. hemitoechus* a la biozona 23 (GUÉRIN, 1980) y presentan una edad aproximada, a partir de dataciones obtenidas por U/Th y ESR asociados a la fauna de entre 350 ka y 200 ka (CARBONELL *et al.*, 1999; CUENCA-BESCÓS y GARCÍA, 2005).

La presencia más antigua en Europa de *S. hemitoechus* se cita en el yacimiento francés de L'Aragó (MIS 12), en Bilzingsleben (MIS 11) y Terra Amata (MADE, 2005; LACOMBAT, 2003). Este último yacimiento fue asignado a la biozona 23 por GUÉRIN (1980). En la Península Ibérica la presencia más antigua de esta especie está en los yacimientos de Atapuerca y de Torralba (CERDEÑO, 1990; VILLA *et al.*, 2005). Este último yacimiento presenta una cronología contemporánea o ligeramente más antigua que Orgnac 3, que presenta un mínimo de edad de 300 ka (FALGUÈRES *et al.*, 2006) y un estadio evolutivo primitivo de esta especie (MADE, 2005). Los restos de *S. hemitoechus* de CHO presentan un estadio evolutivo primitivo comparable con el presente en otros yacimientos europeos que muestran una distribución estratigráfica comprendida entre un rango de edad aproximado de 400-300 ka.

Las primeras formas de *Equus* de tipo "caballino" tendrían su aparición en Europa al inicio del Pleistoceno Medio y difieren sensiblemente de las otras formas caballinas del Pleistoceno Superior y de las actuales. Estos caballos son denominados con diferentes nombres específicos y subespecíficos, pero todos ellos son comparables con los restos de caballos del yacimiento de Mosbach (estadio Holstein) y podríamos incluirlos en el grupo denominado "mosbachensis" (LANGLOIS, 2004). Estos caballos estuvieron presentes durante el Pleistoceno Medio y posteriormente fueron reemplazados por una forma de *Equus caballus* más pequeña.

Los restos de caballos de la CHO son comparables con los que encontramos en otros yacimientos, todos ellos asignados a este grupo, como los descritos en la cueva de L'Aragó, Lunel-Viel o Westbury, entre otros. Estos últimos yacimientos presentan una edad muy próxima. El complejo medio (III) de la cueva de L'Aragó, donde encontramos una lista faunística comparable con la de CHO, presenta edad superior a 350 ka (FALGUÈRES *et al.*, 2004) y según los datos obtenidos a partir de ESR entre 540 ± 60 ka y 520 ± 70 ka (BAHAIN *et al.*, 1993). Del yacimiento de Lunel-Viel no existen dataciones directas pero los estudios de la fauna indican una edad próxima al interglaciar Mindel/Riss (BONIFAY, 1971). El yacimiento de Westbury representa uno de los yacimientos pleistocenos más antiguos del Reino Unido perteneciente al interglaciar Cromeriense (MIS13) (BISHOP, 1982).

El lobo presente en CHO representa una forma transicional de pequeño tamaño entre el *Canis mosbachensis* y el auténtico lobo *Canis lupus*. Esta transición entre ambas especies se piensa que tuvo lugar alrededor del estadio Holstein (aproximadamente MIS 11), ya que los lobos pre-Holstein han sido asignados a *Canis mosbachensis* (GARCÍA, 2001). El lobo de CHO es uno de los primeros representantes de *Canis lupus* al igual que el que encontramos en los yacimientos de Heppenloch, Lunel-Viel y Trinchera Galería.

El representante más antiguo de *Felis silvestris* fue reconocido por un premolar en el yacimiento de Le Vallonet perteneciente al Pleistoceno Inferior (MOULLÉ, 1992). Sin embargo, la especie de gato que suele estar presente en muchos yacimientos durante el Villafranchiense superior (Pleistoceno Inferior) es *Felis lunensis*.

KURTÉN (1965) considera que el gato actual, *F. silvestris*, probablemente descienda a partir de la forma villafranchiense de *F. lunensis*. La transición hacia la forma moderna, según este autor, ya se habría completado en el estadio Holstein (MIS11), estando presente *F. silvestris* en yacimientos como Lunel-Viel y Heppenloch (cronología: interglaciar Holstein). La etapa de transición entre *F. lunensis* a *F. silvestris* tendría lugar durante el Mindel/Elster en la que estaría presente una forma con rasgos intermedios como la de Heppenloch (KURTÉN, 1965). El gato salvaje de la CHO presenta unos rasgos que podrían considerarse transicionales entre ambas especies, lo cual nos indicaría una edad según KURTÉN (1965) en torno al estadio Holstein, ya que a partir de este momento ya se habría completado la transición.

Los micromamíferos son muy empleados como indicadores bioestratigráficos, cronológicos y paleoecológicos. Sin embargo, están muy escasamente representados en el yacimiento y tan solo encontramos restos de erizo (*Erinaceus*), de hámster (*Allocricetus*), de ratón de campo (*Apodemus*) y de quiróptero (*Rhinolophus*) en muy pequeñas cantidades. La única especie de la que se ha podido obtener información es del hámster *Allocricetus bursae correzensis*, cuya morfología y tamaño es similar al de los yacimientos de Trinchera Galería y la Sima de los Huesos de Atapuerca (CUENCA-BESCÓS *et al.*, 2004; CUENCA-BESCÓS *et al.*, 2001).

El conjunto de especies presentes en el yacimiento, así como sus características, muestran una edad del yacimiento en torno a los 400-300 ka. Considerando los estadios establecidos para el NW de Europa estaría muy próximo al interglaciar Holstein.

ESTUDIO TAFONÓMICO PRELIMINAR

Se ha realizado un estudio tafonómico preliminar de los restos fósiles recuperados hasta la fecha. El objetivo principal de este estudio ha sido intentar reconocer los principales agentes que han producido la dispersión y concentración de los restos óseos en la cueva.

Existen dos tipos de agentes capaces de intervenir en la dispersión y concentración de los restos óseos, por un lado los físicos y por otro los biológicos. Entre los agentes físicos que pueden actuar dentro de un sistema cárstico están el transporte hídrico, entendiendo como tal el transporte que se puede generar dentro de la cavidad al reactivarse el sistema cárstico, y el transporte gravitacional por caída desde el exterior, que en este caso podría venir marcado por la existencia de una trampa natural. En relación con estos procesos, se ha observado una orientación preferente (norte-sur) de los huesos largos, que suscita pensar en la actuación de un menor a mayor grado de transporte. Dado que esta orientación preferente es muy apreciable justo en el sector donde se localizan los sumideros de la cavidad, activos en la actualidad, se piensa que los restos han podido ser transportados hacia ese sector al reactivarse el sistema cárstico. Además, es apreciable una escasa representación de microfauna que podría estar relacionada con el lavado y desaparición de la fracción más fina al reactivarse el sistema. Se desconoce, por el momento, en qué medida los restos han sufrido transporte y si éste ha podido producir un sesgo tafonómico sobre el material recuperado.

En cuanto a la posible existencia de una trampa natural, existen diferentes características tanto ecológicas como tafonómicas (WANG y MARTIN, 1993) que no han sido observadas en el conjunto de los restos óseos del yacimiento. Una de las principales características de una trampa natural, propiciada por la propia caída de los animales, es una amplia representación de todas las partes esqueléticas (esqueleto axial y apendicular) así como la conexión anatómica de algunas de ellas. Por otro lado, en ocasiones se puede observar un alto porcentaje de carnívoros frente a herbívoros. Esto se debe a la atracción que supone la trampa para los carnívoros que provoca que puedan quedar también atrapados (WHITE *et al.*, 1984). Esto último se ha observado en trampas naturales de yacimientos al aire libre, pero en el caso de las cuevas puede llegar a ser muy diferente (WANG y MARTIN, 1993; CÁCERES, 2002). Aun así, esta última característica tampoco ha sido observada en el conjunto del yacimiento.

Por otro lado, los principales agentes biológicos que pueden producir dispersión y concentración de restos en las cuevas son los homínidos, las hienas, los leopardos y el puercoespín (BRAIN, 1980; 1981). A estos últimos habría que añadir algunos cánidos, como el lobo o el coyote, que en ocasiones pueden utilizar las cuevas como madrigueras y transportar restos a ellas (BINFORD, 1981; DOMÍNGUEZ-RODRIGO, 1994 a y b).

De todos ellos, la actividad de homínidos ha sido descartada al no observarse marcas de corte en los restos estudiados así como tampoco industria lítica asociada a los mismos. Del mismo modo, tampoco se han observado marcas producidas por puercoespín, cuya morfología –resultado del roído de los huesos con la finalidad de desgastar sus dientes de crecimiento continuo o de incrementar el contenido de sales minerales a su dieta– es muy característica y fácil de reconocer.

En relación con la actividad de carnívoros, se han observado diferentes tipos de marcas en los restos óseos. Las formas de consumo y alteración de las carcasas de las presas producidas por diferentes carnívoros pueden a su vez generar diferentes tipos de patrones de acumulación y de tipos de marcas. Es por ello que para identificar al carnívoro que ha producido la dispersión y concentración en una cueva se utilizan diferentes criterios, como son el patrón de acumulación, las partes esqueléticas más representadas, el tipo de marcas, la localización de las marcas, etc. (CRUZ-ÚRIBE, 1991; PICKERING, 2002; DOMÍNGUEZ-RODRIGO y PIQUERAS, 2003; PICKERING *et al.*, 2004; FAITH *et al.*, 2007).

El leopardo en ocasiones puede utilizar las cavidades cársticas de guarida, transportando las carcasas enteras de sus presas y consumiéndolas allí. Por ello el tamaño de sus presas se limita a aquellas que son capaces de transportar. De manera que los leopardos pueden contribuir a la deposición de pequeñas presas (PICKERING *et al.*, 2004; DOMÍNGUEZ-RODRIGO y PIQUERAS, 2003), que en este caso podrían ser los cérvidos y los caprinos. En el caso de CHO se ha descartado en principio la acción de los leopardos, ya que de ser así tendría que haberse encontrado mayor representación de restos postcraneales de sus presas.

Por otro lado, las hienas son los carnívoros que mayor alteración pueden causar en las carcasas de otros vertebrados (BRAIN, 1981), pudiendo llegar a destruir los huesos totalmente por fracturación o incluso por ingestión. Esta mayor alteración en los huesos que producen está relacionada con la capacidad que tienen para asimilar la materia orgánica del tejido óseo de los huesos. Por ello acostumbra a desplazar los huesos, apendiculares y craneales principalmente, a las madrigueras donde los acumulan (BINFORD, 1981; DOMÍNGUEZ-RODRIGO, 1994 a y b). Existen diferentes criterios que permiten la identificación de la actividad de hienas en un yacimiento paleontológico, unido a su vez a una amplia discusión entre estos criterios y su capacidad para distinguirlos de la producida por otros carnívoros, entre los que se encuentran los homínidos (HAYNES, 1983; CRUZ-ÚRIBE, 1991; STINER, 1991; PICKERING, 2002; FAITH, 2007; POKINES y PETERHANS, 2007; KUHN *et al.*, en prensa).

Uno de los principales criterios utilizados para identificar al carnívoro que ha generado la acumulación de restos óseos es el tipo de marcas que estos dejan al consumir sus presas, así como la distribución y localización de éstas. Las principales huellas producidas por carnívoros que se pueden observar en los huesos son los surcos, las depresiones, las improntas, marcas de mordisqueo, bordes ondulados, estrías, pulidos por la acción de ácidos salivares asociados a un lameteo y mordisqueo intenso o a la regurgitación y el excavado o vaciado de huesos (CÁCERES, 2002). En la CHO se han observado diferentes tipos de marcas que evidencian la actividad de carnívoros. De todas, la más abundante es la relacionada con una actividad de mordisqueo intenso (lámina III, figuras A y B) asociado a la eliminación total o parcial de epifisis mediante la actividad de excavado o vaciado de los huesos (lámina IV, figura D). Asociados a estas últimas marcas, se han observado pulidos en los extremos de algunos restos con pequeñas depresiones (*pitting*), estrías y surcos, que se relacionan con la insalivación y mordisqueo intenso de una zona del hueso (lámina III, figuras C y D). Menos abundantes son los surcos, depresiones e improntas (lámina IV, figuras A y B). Estas marcas las encontramos principalmente en los extremos epifisiales de los huesos largos del esqueleto apendicular de grandes herbívoros, y parecen responder más a la actividad de consumo de la médula y el tejido

óseo que al descarnamiento, característica propia de la actividad de hienas (DOMÍNGUEZ-RODRIGO, 1994 b; DOMÍNGUEZ-RODRIGO y PIQUERAS, 2003; PICKERING *et al.*, 2004).

Por otro lado, otra de las observaciones realizadas en CHO es que, entre los elementos post-craneales más representados, abundan los metapodiales y huesos largos pertenecientes al esqueleto apendicular. Estos constituyen actualmente un 75% del total de restos post-craneales identificados. En relación con esto último, se ha observado que en las guaridas de hienas los restos esqueléticos más representados son los miembros apendiculares, anteriores y posteriores, y los metapodiales, ya que estos son más resistentes a la fractura y al mordisqueo que producen estos animales (BEHRENSMEYER y DOROTHY, 1980; CRUZ-URIBE, 1991).

Por otro lado, se han identificado y contabilizado un gran número de coprolitos asociados a los restos óseos (lámina IV, figura C). Estos presentan unas características externas macroscópicas –color amarillento claro externo y blanquecino internamente, morfología subredondeada y un tamaño entre 30-40 mm– que son comparables con los coprolitos producidos por hienas (FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ *et al.*, 1995; CARRIÓN *et al.*, 2000; LARKIN *et al.*, 2000).

En resumen, los datos apuntan a que las hienas tuvieron una importante participación en la concentración de los restos en la cueva, que viene evidenciada por el tipo de marcas observadas en los restos óseos, unido a la presencia de coprolitos y de restos directos de éstas. Sin embargo, no se puede descartar que algunos de los restos hubieran sido introducidos por otros carnívoros como los lobos. Así mismo, dada la evidencia de transporte observada en los restos, no se puede evaluar por el momento la influencia que éste ha podido producir sobre el yacimiento de CHO.

PALEOECOLOGÍA

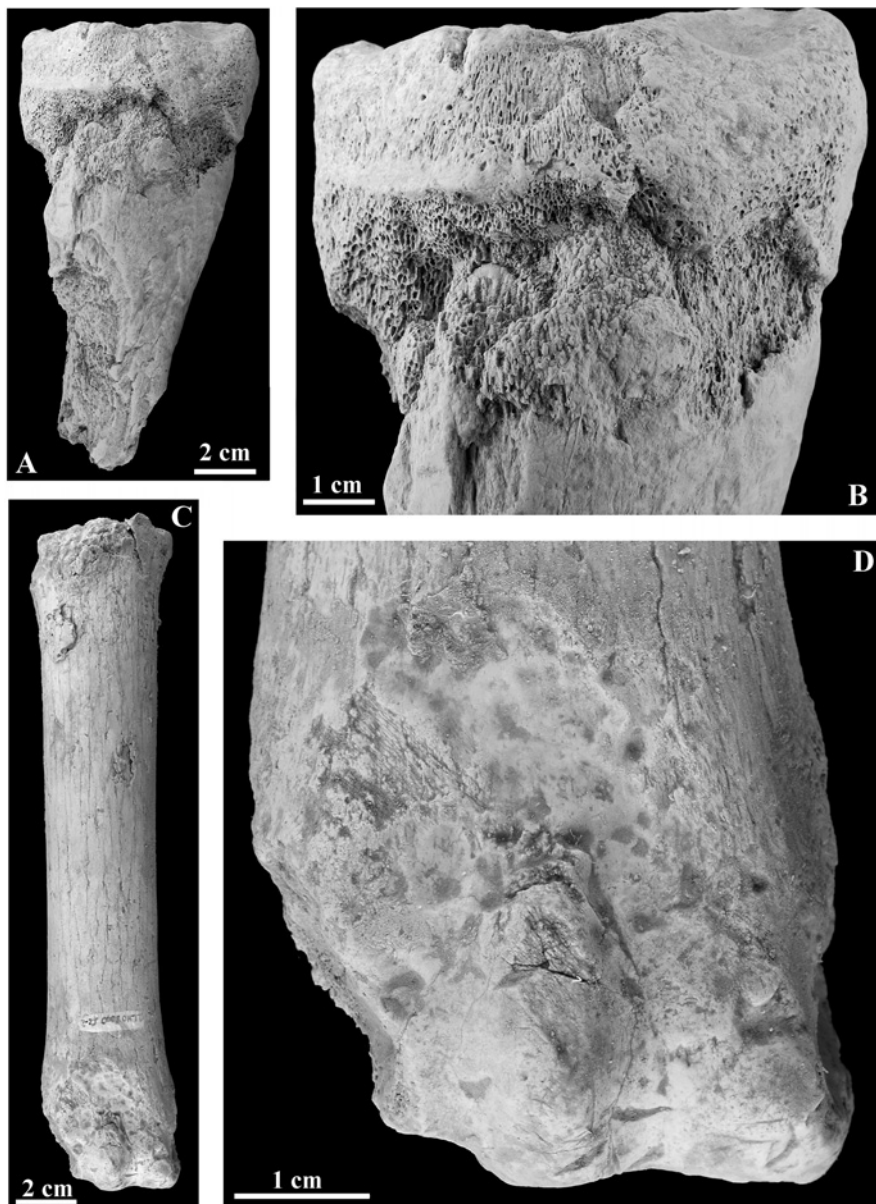
Una vez conocidas las especies presentes en el yacimiento y los distintos factores que han intervenido en la formación del mismo, el último objetivo de este trabajo consiste en inferir el paleoambiente que habría en esta región conociendo los distintos habitats que ocuparía cada una de estas especies.

El rinoceronte *Stephanorhinus hemitoechus* presenta una dentición de braquiodonta a ligeramente hipsodonta y se alimenta de hierba y pequeñas plantas principalmente, estando asociado a medios abiertos (FORTELIUS, 1982), denominándose comúnmente el rinoceronte de “estepa”. Del mismo modo, los caballos también están asociados a medios abiertos de tipo estepa.

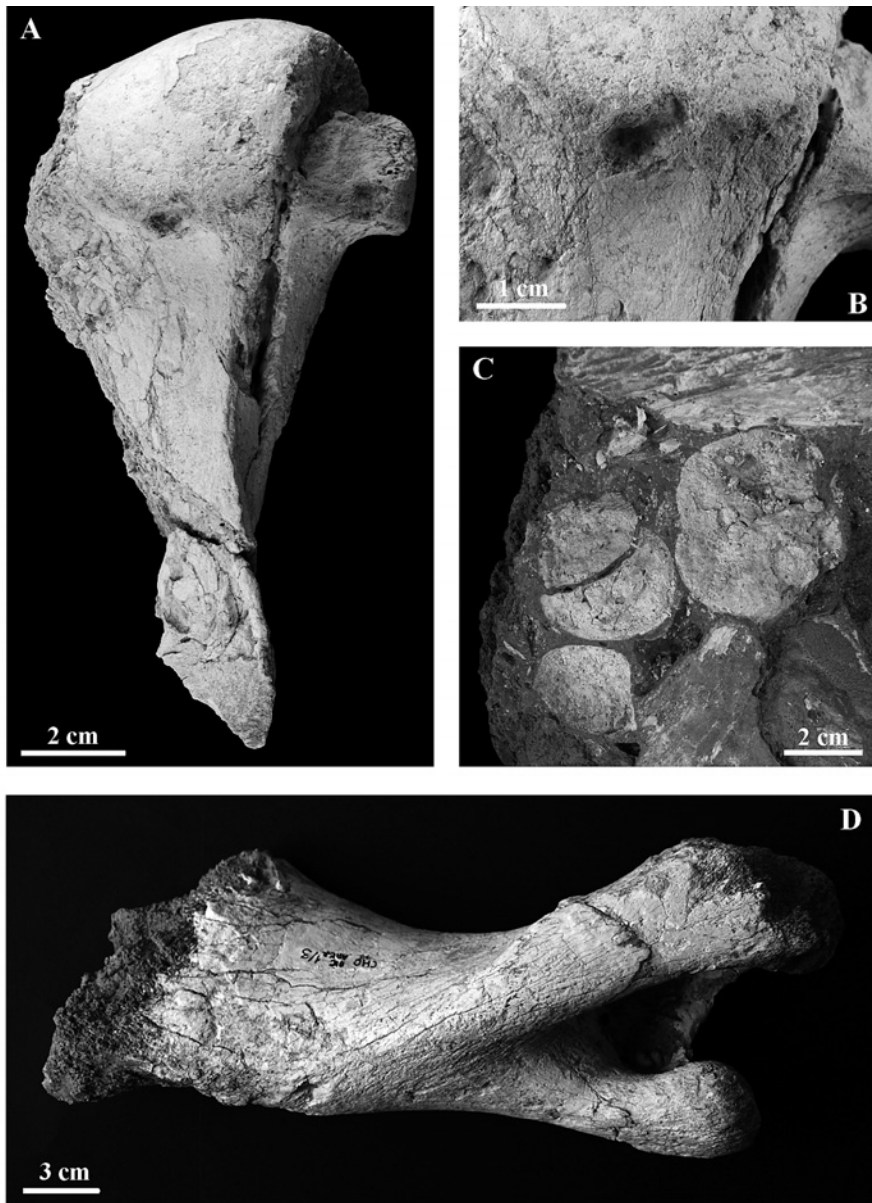
Bison schoetensacki, a diferencia de las otras especies de bisontes del Pleistoceno, es una forma de pequeño tamaño asociada a medios no tan abiertos como el caso de *Bison priscus*, sino más boscosos (bosque abierto), en relación a la localidad de Mauer de edad Pleistoceno Medio inicial donde fue definido (GUÉRIN *et al.*, 2003).

El ciervo, *Cervus elaphus*, actualmente ocupa una gran variedad de habitats, aunque el ideal contiene densas zonas forestales alternadas por praderas (BLANCO, 1998).

Las especies del género *Capra* pueden ocupar ecosistemas muy variados, pero en la mayoría de los casos las encontramos ligadas a medios relativamente rocosos con diferente tipo de vegetación, desde prados a bosque (BLANCO, 1998).



Lám. III. A y B: radio indeterminado con marcas de mordisqueo intenso producido por carnívoros, ejemplar MPZ 2007/883. C y D: metápodo de caballo con marcas de mordisqueo y pulidos por la acción de ácidos salivares asociados a un lameteo y mordisqueo intenso. Se pueden observar pequeñas depresiones y surcos relacionados con esta actividad, ejemplar MPZ 2007/824.



Lám. IV. A y B: fémur indeterminado con una impronta producida por una mordedura de carnívoro, ejemplar MPZ 2007/884. C: coprolitos de hienas del nivel fosilífero principal. D: húmero derecho de rinoceronte con las epífisis parcialmente eliminadas por mordisqueo intenso, ejemplar MPZ 2005/27.

El tejón (*Meles meles*) prefiere un hábitat de bosque abierto y el gato salvaje (*Felis silvestris*) está asociado a un hábitat de bosque o arbustivo (POKINES, 1998). El resto de carnívoros presentes en el yacimiento está constituido por especies generalistas. Por otro lado la hiena, *Crocota crocuta*, especialista en rotura de huesos, es típica de medios abiertos con gran densidad de herbívoros (VALKENBURGH, 1988).

En cuanto a los restos de microfauna, como ya se ha indicado anteriormente, son muy escasos y no permiten realizar estudios paleoecológicos.

El conjunto de las especies presentes en el yacimiento indican un hábitat de bosque abierto, con zonas arbustivas, grandes prados y masas de agua estacionales donde vivirían los caballos y los rinocerontes.

CONCLUSIONES

Del estudio sistemático de CHO se han reconocido las siguientes especies: *Crocota crocuta*, *Canis lupus*, *Vulpes cf. vulpes*, *Felis silvestris*, *Meles meles*, *Stephanorhinus hemitoechus*, *Equus cf. mosbachensis*, *Bison cf. schoetensacki*, *Capra sp.* y *Cervus elaphus ssp.*

A partir de la comparación de las especies con las de otros yacimientos se estima una edad para la CHO en torno a los 400-300 ka y considerando los estadios establecidos para el NW de Europa estaría muy próximo al interglaciar Holstein.

Las numerosas marcas de mordisqueo en los restos, la representación más abundante de ciertas partes esqueléticas, los numerosos coprolitos de hiena asociados a los restos óseos y los restos directos de hienas en el yacimiento evidencian la actividad de hienas (*Crocota crocuta*) en la acumulación de los restos fósiles, aunque sin poder descartar la actividad de otros carnívoros como el lobo.

El conjunto de las especies presentes en el yacimiento muestra un hábitat de bosque abierto, con zonas más arbustivas y con árboles, y otras con grandes prados y masas de agua estacionales.

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a todas aquellas personas e instituciones que en algún momento han ayudado en el desarrollo de este trabajo: al Instituto de Estudios Turolenses por financiar en parte las investigaciones; al Parque Cultural del Río Martín y al grupo espeleológico El Farallón por colaborar en los trabajos de excavación del yacimiento. Al Servicio de Protección y Prevención del Patrimonio Cultural de la Diputación General de Aragón por los distintos proyectos concedidos para el estudio de la cueva, a todos los componentes de la empresa Paleoymas por su colaboración técnica en la excavación y restauración de los restos de la Cueva de los Huesos. Especialmente quisiera agradecer a la Dra. Gloria Cuenca-Bescós por cedermme el material para su estudio y darme sugerencias sobre el texto. A los aficionados locales por ceder parte de su material y colaborar durante las excavaciones. Al servicio de fotografía de la Universidad de Zaragoza (Área de Paleontología) por realizar las fotografías de las láminas III y IV. Para terminar quisiera agradecer al Dr. José Ignacio Canudo, Dra. Beatriz Azanza, Samuel Zamora, Juan Rofes, de la Universidad de Zaragoza, al Dr.

Andy Currant del Natural History Museum de Londres, al Dr. Bienvenido Martínez-Navarro y Lluç Bennàsar de la Universidad Rovira I Virgili, Tarragona, y al Dr. Jan van der Made del Museo de Ciencias Naturales de Madrid, por las sugerencias y la ayuda que me han prestado a lo largo de la elaboración de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- ARSUAGA, J.L.; MARTÍNEZ, I. y GRACIA, A. (2001), «Analyse phylogénétique des Hominidés de la Sierra de Atapuerca (Sima de los Huesos et Gran Dolina TD-6): l'évidence crânienne», *L'Anthropologie*, 105 (2), pp. 161-178.
- AURELL, M.; BÁDENAS, B. y CASAS, A. (2001), *La geología del Parque Cultural del Río Martín*, Asociación Parque Cultural del río Martín.
- AZZAROLI, A. (1962), «Validità della specie *Rhinoceros hemitoechus* Falconer», *Palaeontographia Italica*, vol. LVII, pp. 21-34.
- (1966), «Pleistocene and living Horses of the old World», *Palaeontographia Italica*, vol. LXI, pp. 1-15.
- BAHAIN, J.J.; SARCIA, M.N.; FALGUÈRES, C. y YOKOYAMA, Y. (1993), «Attempt at ESR dating of tooth enamel of French Middle Pleistocene sites», *Applied Radiation and isotopes*, 44, pp. 267-273.
- BARCO, J.L.; CUENCA, G.; GUTIÉRREZ, F.; RUBIO, C. y RUBIO, C.J. (2001), «Restos de elefante (Proboscidea, Mammalia) en el Pleistoceno de Obón (Cordillera Ibérica, Teruel)», *Geogaceta*, 30, pp. 231-233.
- BEHRENSMEYER, A.K. y DECHANT BOAZ, D.E. (1980), «The recent bones of Amboseli Park, Kenya, in relation to east African paleoecology», en A. BEHRENSMEYER y A.P. HILL (eds.), *Fossils in the Making: Vertebrate Taphonomy and Paleoecology*, Chicago, University of Chicago, pp. 72-92.
- BINFORD, L.R. (1981), *Bones. Ancient Men and Modern Myths*, New York, Academic Press.
- BISHOP, M.J. (1982), *The mammal fauna of the Early Middle Pleistocene cavern infill site of Westbury-Sub-Mendip, Somerset*, London, The Paleontological Association.
- BLANCO, J.C. (1998), *Mamíferos de España I, II. Guías de Campo*, Barcelona, Planeta.
- BLUMENSCHINE, R.J. (1988), «An experimental model in the timing of hominid and carnivore influence on archaeological bone assemblages», *J. of Archaeol. Sc.*, 15, pp. 483-502.
- BONADONNA, F.P. y ALBERDI, M.T. (1987), «Equus stenorhinus cocchi as a biostratigraphical marker in the Neogene-Quaternary of the western Mediterranean Basin: consequence on Galerian-Villafranchian chronostratigraphy», *Quaternary science Reviews*, 6, pp. 55-66.
- BONIFAY, M.F. (1971), «Carnivores Quaternaries du Sud-Est de la France», *Mém. Mus. Hist. Nat.*, sér C, 21, pp. 1-370.
- (1975), «*Hemitragus bonali* (Harlé et Stehlin) "Caprinae" de la Grotte de l'Escale (Saint-Estève-Janson, Bouches du Rhône)», *Quaternaria*, 18, pp. 215-302.
- BRAIN, C.K. (1980), «Some Criteria for the Recognition of Bone-Collecting Agencies in African Caves», en A. BEHRENSMEYER y A.P. HILL (eds.), *Fossils in the Making: Vertebrate Taphonomy and Paleoecology*, Chicago, University of Chicago, pp. 108-130.
- (1981), *The hunters or the hunted? An introduction to South African Cave Taphonomy*, Chicago, University of Chicago Press.

- BRUGAL, J.-P. (1985), «Le Bos primigenius Boj., 1827 du Pleistocene moyen des grottes de Lunel-Viel (Herauld)», *Bulletin du Musée d'Anthropologie Préhistorique de Monaco*, 28, pp. 7-62.
- CÁCERES, I. (2002), *Tafonomía de yacimientos antrópicos en Karst. Complejo Galería (Sierra de Atapuerca, Burgos), Vanguard Cave (Gibraltar) y Abric Romaní (Capellades, Barcelona)*, Tesis doctoral, Tarragona, vol. I.
- CARBONELL ROURA, E.; ROSAS GONZÁLEZ, A. y Díez FERNÁNDEZ-LOMANA, J.C. (eds.) (1999), *Atapuerca: Ocupaciones humanas y paleoecología del yacimiento de Galería*, Memorias, Arqueología en Castilla y León, 7, pp. 1-390.
- CERDEÑO, E. (1990), «*Stephanorhinus hemitoechus* (Falc.) (Rhinocerotidae, Mammalia) del Pleistoceno medio y superior de España», *Estudios geológicos*, 46, pp. 465-479.
- (1995), «Cladistic analysis of the family Rhinocerotidae (Perissodactyla)», *American Museum Novitates*, 3143, pp. 1-25.
- CRÉGUT-BONNOURE, E. (1992a), «Intérêt biostratigraphique de la morphologie dentarie de *Capra* (Mammalia, Bovidae)», *Ann. Zool. Fennici*, 28, pp. 273-290.
- (1992b), «Les Caprinae (Mammalia, Bovidae) du Pléistocène d'Europe: intérêt biostratigraphique, paléocologique et archéozoologique», *Mém. Soc. Géol. France*, 160, pp. 85-93.
- CRUZ-URIBE, K. (1991), «Distinguishing hyaena from hominid bone accumulations», *Journal of Field Archaeology*, 18, pp. 467-486.
- CUENCA-BESCÓS, G. y CANUDO, J.I. (1999), «Los Mamíferos del Pleistoceno en el Parque del Río Martín: Cueva de los Huesos. Obón», *Cauce, Boletín Informativo y Cultural del Parque del Río Martín*, 2, pp. 9-14.
- (2005), «El Uro del Fogañan. Ariño (Teruel). Un importante descubrimiento paleontológico único en Aragón por su estado de conservación», *Cauce*, 20, pp. 15-20.
- CUENCA-BESCÓS, G.; CANUDO, J.I. y LAPLANA, C. (2001), «La séquence des rongeurs (Mammalia) des sites du Pléistocène inférieur et moyen d'Atapuerca (Burgos, Espagne)», *L'Anthropologie*, 105 (1), pp. 115-130.
- CUENCA-BESCÓS, G.; GARCÍA, N. y MADE, J. van der (2004), «Fossil mammals of the Lower to Middle Pleistocene of Gran Dolina, Atapuerca (Burgos, Spain)», en E. BAQUEDANO y S. RUBIO JARA (eds.), *Miscelánea en homenaje a Emiliano Aguirre*, II, Paleontología, Zona Arqueológica 4, Alcalá de Henares, Museo Arqueológico Regional, pp. 140-149.
- CUENCA-BESCÓS, G.; ROFES, J. y GARCÍA-PIMIENTA, J.C. (2005a), «Early europeans and environmental change across the Early-Middle Pleistocene transition: small mammalian evidence from Trincherá Dolina cave, Atapuerca, Spain» en M.J. HEAD y P.L. GIBBARD (eds.), *Early-middle Pleistocene transitions: the land-ocean evidence*, Geological Society of London, Special Publication, 247, pp. 277-286.
- CUENCA-BESCÓS, G.; ALBERDI, M.T.; CANUDO, J.I.; GARCÍA, N.; GORDILLO, J.C.; MADE, J. van der; RAMÓN, D. y RUBIO, C.J. (2005b), «Los mamíferos del Pleistoceno Medio de la Cueva de los Huesos de Obón (Parque Cultural del Río Martín, Teruel)», *Geogaceta*, 38, 119-122.
- CUENCA-BESCÓS, G. y GARCÍA, N. (2007), «Distribution of the early and middle Pleistocene mammals of the Atapuerca cave localities (Spain, South-western Europe)», *Courier Forschungs Institut Senckenberg*, 259, pp. 99-110.
- DOMÍNGUEZ-RODRIGO, M. (1994a), «Dinámica trófica, estrategias de consumo y alteraciones óseas en la sabana africana: resumen de un proyecto de investigación etoarqueológico (1991-1993)», *Trabajos de Prehistoria*, 51, pp. 15-37.

- (1994b), «Las razones adaptativas del comportamiento subsistencial de los animales carnívoros y sus estrategias iniciales de consumo de presas: relevancia en el proceder tafonómico», *Quad. Preh. Cast.*, 16, pp. 9-17.
- DOMÍNGUEZ-RODRIGO, M. y PIQUERAS, A. (2003), «The use of tooth pits to identify carnivore taxa in tooth-marked archaeofaunas and their relevance to reconstruct hominid carcass processing behaviors», *Journal of Archaeological Science*, 30, pp. 1385-1391.
- FAITH, J.T. (2007), «Sources of variation in carnivore tooth-mark frequencies in a modern spotted hyena (*Crocuta crocuta*) den assemblage, Amboseli Park, Kenya», *Journal of Archaeological Science*, 34, pp. 1601-1609.
- FAITH, J.T.; MAREAN, C.W. y BEHRENSMEYER, A.K. (2007), «Carnivore competition, bone destruction, and bone density», *Journal of Archaeological Science*, 34, pp. 2025-2034.
- FALGUÈRES, C.; YOKOYAMA, Y.; SHEN, G.; BISCHOFF, J.L.; KU, T.-L. y HUMLEY, H. de (2004), «New U-series dates at the Caune de l' Arago, France», *Journal of Archaeological Science*, 31, pp. 941-952.
- FALGUÈRES, C.; BAHAIN, J.-J.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; MERCIER, N.; SANTONJA, M. y DOLO, J.-M. (2006), «The Lower Acheulian site of Ambrona, Soria (Spain): ages derived from a combined ESR/U-series model», *Journal of Archaeological Science*, 33, pp. 149-257.
- FORTELIUS, M. (1982), «Ecological aspects of dental functional morphology in the Plio-Pleistocene Rhinoceroses of Europe», en B. KURTÉN (ed.), *Teeth: Form, Function, and Evolution*, Columbia University Press, New York, pp. 164-180.
- FORTELIUS, M.; MAZZA, P. y SALA, B. (1993), «*Stephanorhinus* (Mammalia: Rhinocerotidae) of the western European Pleistocene, with a revision of *S. etruscus* (Falconer, 1868)», *Palaeontographia Italica*, 80, pp. 51-62.
- GARCÍA, N. (2001), *Los carnívoros de los Yacimientos Pleistocenos de la Sierra de Atapuerca*, Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Biológicas, pp. 1-525.
- GARCÍA, N. y ARSUAGA, J.L. (1998), «The Carnivore remains from the hominid-bearing Trincheras Galería, Sierra de Atapuerca, Middle Pleistocene site (Spain)», *Geobios*, 31 (5), pp. 659-674.
- GUÉRIN, C. (1980), «Les Rhinoceros (Mammalia, Périssodactyla) du Miocene terminal au Pléistocène supérieur en Europe occidentale. Comparaison avec les espèces actuelles», *Documents des laboratoires de géologie de Lyon*, 79, fasc. 1, 2, 3, pp. 1185.
- (1982), «Les Rhinocerotidae (Mammalia, Perissodactyla) du Miocène terminal au Pléistocène supérieur d'Europe occidentale comparés aux espèces actuelles: Tendances évolutives et relations phylogénétiques», *Geobios*, 15, pp. 599-605.
- GUÉRIN, C.; DEWOLF, Y. y LAUTRIDOU, J.-P. (2003), «Révision d'un site paléontologique célèbre: Saint-Prest (Chartres, France)», *Geobios*, 36, pp. 55-82.
- HAYNES, G. (1983), «A guide for differentiating mammalian carnivore taxa responsible for gnaw damage to herbivore limb bones», *Paleobiology*, 9 (2), pp. 164-172.
- KUHN, B.F.; BERGER, L.R. y SKINNER, J.D. (en prensa), «Examining for identifying differentiating fossil faunal assemblages accumulated by hyenas and hominins using extant hyenid accumulations», *International Journal of Osteoarchaeology*.
- KURTÉN, B. (1965), «On the evolution of the European wild cat», *Felis silvestris* Schreber», *Acta Zoologica Fennica*, 111, pp. 1-29.
- (1968), *Pleistocene Mammals of Europe*, London, Weidenfeld & Nicholson.

- LACOMBAT, F. (2003), *Etude paléontologique des rhinocerotidae du Pleistocène de l'Europe Méditerranéenne et du Massif Central. Paléontologie, phylogénie et biostratigraphie*, Tesis Doctoral, Paris, Muséum National d'Histoire Naturelle.
- LANGLOIS, A. (2004), *A sujet du cheval de la Micoque (Dordogne) et des comportements humains de subsistance au Pléistocène moyen dans le Nord-Est de l'Aquitaine*, Tesis Doctoral, Université Bordeaux I, Phéhistoire et Géologie du Quaternaire.
- LISTER, A. (1996), «The Morphological Distinction Between Bones and Teeth of Fallow Deer (*Dama dama*) and Red Deer (*Cervus elaphus*)», *International Journal of Osteoarchaeology*, 6, pp. 119-143.
- LORENZO LIZALDE, J.A. (1993), «La Cueva de las Muelas de Obón», *Arqueología Aragonesa*, 20, pp. 339-342.
- MADE, J. VAN DER (2000), «A preliminary note on the rhinos from Bilzingsleben», *Præhistoria Thuringica*, 4, S, pp. 41-64.
- (2001), «Les Ongulés de Atapuerca. Stratigraphie et biogéographie», *L'Antropologie*, 105, pp. 95-113.
 - (2005), *The rhinos from de Middle Pleistocene of Neumark Nord (Germany)*, Veröffentlichungen des Landesamtes für Archeologie, Halle, pp. 1-96.
- MARTÍNEZ NAVARRO, B. (1992), «Revisión sistemática de la fauna de macromamíferos del yacimiento de Venta Micena (Orce, Granada, España)», en J. GIBERT (ed.), *Proyecto Orce-Cueva Victoria (1988-1992). Presencia humana en el Pleistoceno inferior de Granada y Murcia*, Orce, Museo de Prehistoria Josep Gibert, pp. 21-85.
- MOULLÉ, P.E. (1992), *Les grands mammifères du Pléistocène inférieur de la grotte du Vallonet (Roquebrune-Cap-Marti, Alpes-Maritimes). Etude paléontologique des carnivores, Equidés, Suidés et Bovidés*, Tesis Doctoral, Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris.
- MOULLÉ, P.E.; ECHASSOUX, A. y MARTÍNEZ-NAVARRO, B. (2004), «*Ammotragus europaeus*: une nouvelle espèce de Caprini (Bovidae, Mammalia) du Pléistocène inférieur à la grotte du Vallonet (France)», *C.R. Palevol*, 3, pp. 663-673.
- PÉREZ GONZÁLEZ, A.; SANTONJA, M.; MORA, R.; SESÉ, C.; SOTO, E. y VILLA, P. (1997), «Ambrona y Torralba. Actividad humana y procesos naturales», en J. RODRÍGUEZ VIDAL (ed.), *Cuaternario Ibérico*, pp. 235-247.
- PICKERING, T.R. (2002), «Reconsideration of criteria for differentiating faunal assemblages accumulated by hyenas and hominids», *International Journal of Osteoarchaeology*, 12, pp. 127-141.
- PICKERING, T.R.; DOMÍNGUEZ-RODRIGO, M.; EGELAND, C.P. y BRAIN, C.K. (2004), «Beyond leopards: tooth marks and the contribution of multiple carnivore taxa to the accumulation of the Swartkrans Member 3 fossil assemblage», *Journal of Human Evolution*, 46, pp. 595-604.
- POKINES, J.T. (1998), «The Paleocology of Lower Magdalenian Cantabrian Spain», *Bar International Series*, 713, pp. 1-189.
- POKINES, J.T. y KERBIS PETERHANS, J.C. (2007), «Spotted hyena (*Crocuta crocuta*) den use and taphonomy in the Masai Mara National Reserve, Kenya», *Journal of Archaeological Science*, 34 (11), pp. 1914-1931.
- RAMÓN DEL RÍO, D. y CUENCA BESCÓS, G. (2005), «Los primeros rinocerontes (Mammalia) de nariz estrecha, *Stephanorhinus hemitoechus* (Falconer 1859) del Pleistoceno de la Península Ibérica», *Libro de Resúmenes XXI Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología*, pp. 137-138.
- ROOK, L. y TORRE, D. (1996), «The latest Villafranchian-early Galerian small dog of the Mediterranean area. *Acta zool. Cracov.*, 39, pp. 427-434.

- SALA, B. (1986), «*Bison schoetensacki* Freud. from Isernia la Pineta (early Mid-Pleistocene-Italy) and revision of the european species of bison. *Palaeontographia Italica*, 74, pp. 113-170.
- SANTONJA, M.; MOISSENET, E. y PÉREZ GONZÁLEZ, A. (1992), «Cuesta de La Bajada (Teruel). Nuevo sitio paleolítico inferior», *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología*, 58, pp. 25-45.
- SANTONJA, M.; MOISSENET, E.; PÉREZ GONZÁLEZ, A.; VILLA, P.; SESÉ, C.; SOTO, E.; EISENMANN, V.; MORA, R. y DUPRÉ, M. (1994), «Cuesta de la Bajada: un yacimiento del Pleistoceno Medio en Aragón», *Arqueología Aragonesa*, 21, pp. 61-68.
- SHIPMAN, P. (1981), *Life History of a Fossil. An introduction of Taphonomy and Paleocology*, Harvard University Press, Massachusetts.
- STINER, M. (1991), «Food procurement and transport by human and non-human predators», *Journal of Archaeological Science*, 18, pp. 455-482.
- VALKENBURGH, V.B. (1988), «Trophic diversity in past and present guilds of large predatory mammals», *Paleobiology*, 14, pp. 155-173.
- VILLA, P.; SOTO, E.; SANTONJA, M.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; MORA, R.; PARCERISAS, J. y SESÉ, C. (2005), «New data from Ambrona: closing the hunting versus scavenging debate», *Quaternary International*, 126-128, pp. 223-250.
- WANG, X. y MARTIN, L. (1993), «Natural Trap Cave», *National Geographic Research & Exploration*, 9 (4), pp. 422-435.
- WERDELIN, L. y SOLOUNIAS, N. (1991), «The Hyaenidae: taxonomy, systematics and evolution», *Fossils and Strata*, 30, pp. 1-104.
- WHITE, J.A.; McDONALD, H.G.; ANDERSON, E. y SOISET, J.M. (1984), «Lava Blisters as carnivores traps», en H.H. GENOWAYS y M.R. DANSON (ed.), *Contributions in Quaternary Vertebrate Paleontology: a Volumen in Memorial to John E. Guilday*, Special Publication of the Carnegie Museum of Natural History, 8, pp. 241-256.

Recibido el 30 de mayo de 2007

Aceptado el 10 de junio de 2010



**FLORA Y FAUNA
DEL PARQUE GEOLÓGICO DE ALIAGA**



*Violeta Simón Porcar, José María Torvisco Najarro,
Carmen Bartolomé Esteban y José Luis Simón Gómez*

FLORA Y FAUNA DEL PARQUE GEOLÓGICO DE ALIAGA*

*Violeta Simón Porcar** , José María Torvisco Najarro*** ,
Carmen Bartolomé Esteban**** y José Luis Simón Gómez******

RESUMEN

El Parque Geológico de Aliaga contiene una muestra representativa de los ecosistemas de la montaña calcárea mediterránea interior, en la que coexisten bosques de pinar, quejigar, carrascal y sabinar, así como curiosos relictos de vegetación atlántica (tilo, tejo, acebo, avellano). Les acompañan formaciones seriales: enebral, guillomar, espinares y matorrales xerófitos (labiadas aromáticas, matorral de porte almohadillado). Este conjunto de hábitats alberga una variada representación de la fauna ibérica, con mamíferos como la cabra montés, jabalí, zorro, tejón y nutria, grandes rapaces como el buitre leonado o el águila real, y pequeñas aves forestales, como el carbonero común o el pico picapinos. La diversidad ecológica se debe a la variedad de condiciones del medio físico: sustrato rocoso (caliza, marga, conglomerado, arenisca, arcilla, yeso); estructura tectónica compleja y encajamiento de la red fluvial, que proporcionan una amplitud topográfica notable y una gran disparidad de pendientes y orientaciones de laderas; desigual disponibilidad de agua... Se ha elaborado un mapa de vegetación a escala 1:50.000 que permite analizar la correlación de estos factores físicos con la distribución de las formaciones vegetales.

Palabras clave: vegetación, piso bioclimático, mamífero, ave, geoparque.

* Resumen del trabajo realizado con una ayuda concedida por el Instituto de Estudios Turolenses en su XXVI Concurso de Ayudas a la Investigación de 2008.

** Dpto. de Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Sevilla.

*** Grupo Ornitológico Alcedo, Dpto. de Zoología, Universidad de Alcalá de Henares.

**** Dpto. de Biología Vegetal, Universidad de Alcalá de Henares.

***** Dpto. de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza.

ABSTRACT

Flora and fauna of the Geological Park of Aliaga.

The Geological Park of Aliaga shows a representative sample of ecosystems of the inner calcareous Mediterranean mountain: forests of *Pinus sylvestris*, *P. nigra*, *Quercus faginea*, *Q. ilex* ssp. *ballota*, *Juniperus thurifera*, as well as relicts of Atlantic vegetation (*Ilex aquifolium*, *Taxus baccata*, *Tilia platyphyllos*, *Corylus avellana*). These are accompanied by serial formations with junipers, hawthorns, *Amelanchier ovalis*, *Genista scorpius* or *Erinacea anthyllis*. A varied representation of the Iberian fauna lives in these habitats, with mammals such as *Capra pyrenaica*, *Sus scrofa*, *Vulpes vulpes*, *Meles meles* and *Lutra lutra*, big raptors as *Gyps fulvus* or *Aquila crysaetos*, and small forest birds such as *Parus major* or *Dendrocopos major*. The ecological diversity is due to the variety of physical environmental conditions: geologic substratum (limestone, dolostone, marl, conglomerate, sandstone, clay, gypsum); complex tectonic structure and fluvial incision, which give rise to a high topographic amplitude and a variety of slope orientations; unequal water availability... A vegetation map has been elaborated on a scale 1:50.000, which allows us to analyse the correlation of those physical parameters with the distribution of vegetal formations.

Key words: vegetation, bioclimatic level, mammal, bird, geopark.

INTRODUCCIÓN

Aliaga es conocida por sus espectaculares formaciones y estructuras geológicas, que ofrecen al visitante de su Parque Geológico la posibilidad de indagar los procesos que han configurado nuestro planeta. La geología es la base del espectacular paisaje de Aliaga, modelado durante el final del Terciario y el Cuaternario por la erosión del río Guadalupe y sus afluentes, que ha puesto así al descubierto la compleja arquitectura de las capas plegadas.

El territorio de Aliaga alberga asimismo una gran biodiversidad. La mayor parte del territorio, agreste, de difíciles accesos y con escaso impacto antrópico, se encuentra en un estado relativamente natural. En las últimas décadas, el abandono de las masías y de las zonas de cultivo más inaccesibles ha aminorado la presión agropecuaria, y se ha interrumpido en gran medida el impacto producido por la actividad minera e industrial que sostuvo la economía local a mediados del siglo XX. La nueva sensibilidad conservacionista ha permitido que grandes zonas del término municipal de Aliaga gocen ahora de figuras de protección medioambiental, como la Zona de Especial Protección de las Aves (Z.E.P.A.) de Río Guadalupe-Maestrazgo y el Lugar de Interés Comunitario (L.I.C.) de Muelas y Estrechos del Río Guadalupe.

La rica flora y fauna que habita este lugar resulta de gran interés para el visitante, que advierte a menudo que, para conocer, comprender y valorar en su conjunto este bello y particular paisaje, es necesario integrar todos sus componentes abióticos y bióticos. El propósito de este trabajo es compendiar unos conocimientos básicos sobre la flora y fauna de Aliaga y su entorno, que permitan al observador del medio natural descubrir esa otra cara, más sensible y delicada, del paisaje.

CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

GEOGRAFÍA

Aliaga es un municipio turolense que tiene en la actualidad 440 habitantes, situado en la comarca administrativa de Cuencas Mineras y en el margen nororiental de la comarca natural del Maestrazgo (fig. 1). Se encuentra en el valle del Guadalope, en la confluencia con el Río de la Val, a 1.105 m de altitud. Su nombre deriva de la palabra árabe *Alulgha*, que significa precisamente “valle retorcido”. El término municipal se extiende al norte por las sierras de San Just y Majalinos, y al sur por las primeras estribaciones del macizo de Gúdar. Además del núcleo urbano principal, integran el municipio los barrios pedáneos de Santa Bárbara, Aldehuela, Campos, Cirugeda y La Cañadilla. Dentro del territorio del Parque Geológico se encuentra asimismo el pueblo de Cobatillas, perteneciente al vecino municipio de Hinojosa de Jarque.

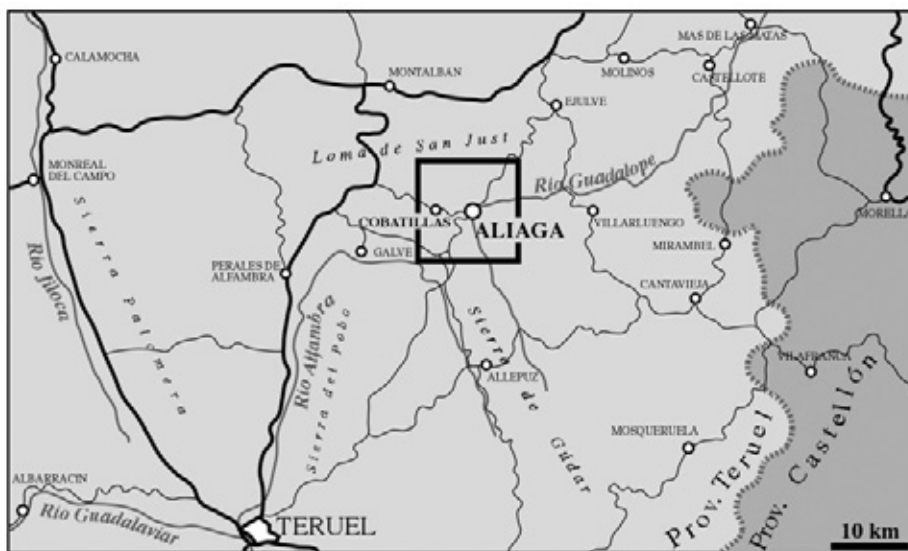


Fig. 1. Situación geográfica de la zona de estudio.

Por su enclave geográfico, Aliaga tiene, como tantos otros pueblos de la provincia de Teruel, un cierto grado de aislamiento que le ha permitido conservar su entorno natural. Las principales huellas humanas en el paisaje son las transformaciones derivadas de la actividad agrícola, que comenzaron a ser significativas desde la baja Edad Media y alcanzaron su máxima intensidad a finales del siglo XIX: sistemas de bancales (un elemento clave del paisaje), masías, sistemas de regadío... Las

talas para obtener nuevos campos de cultivo, el pastoreo de ovejas, cabras y vacas, y las explotaciones forestales de *Pinus nigra* y *P. sylvestris* han transformado así mismo los paisajes vegetales. En la actualidad, el abandono de cultivos ha propiciado que la vegetación natural esté recuperando terreno, y apenas ha desencadenado procesos de erosión acelerada.

La minería del carbón fue una actividad muy importante en la zona durante mediados del siglo XX. Se explotaron varias minas de interior durante las décadas del 40 al 60, para abastecer la central termoeléctrica construida en 1950 a orillas del Guadalupe, que funcionó hasta 1982. Asimismo, a comienzos de los 80 se abrió una mina a cielo abierto en el paraje de El Salobral, que no fue restaurada posteriormente. El entorno de esta mina (hueco y escombrera) y el de la central térmica (edificios, embalse, escombrera de escorias) presentan las transformaciones más severas que ha experimentado el paisaje de Aliaga.

GEOLOGÍA

Aliaga se asienta sobre materiales geológicos de naturaleza exclusivamente sedimentaria, que abarcan en edad desde el Triásico superior hasta el Cuaternario (fig. 2). Todos ellos representan un registro estratigráfico casi continuo de los últimos 200 millones de años de historia de la Cordillera Ibérica (SIMÓN *et al.*, 1998).

Dentro del Mesozoico predominan las formaciones del Cretácico, en las que alternan tramos carbonatados (calizas, margas y dolomías), de origen marino y con abundantes restos fósiles, con otros de litología más variada (areniscas, arcillas, carbón, calizas...) formadas en medios continentales, sobre todo fluviales y lacustres. Sobre la serie marina del Jurásico, de litología calcárea relativamente uniforme, reposa una potente sucesión del Cretácico inferior de naturaleza más variada. Ésta está formada por un primer tramo continental (Facies Weald: formaciones El Castellar, Camarillas y Artoles), un segundo tramo de calizas y margas marinas (Facies Urgon: formaciones Chert, Forcall y Villarroya de los Pinares), y un tercer tramo transicional-continental compuesto por las formaciones Escucha y Utrillas; la Fm. Escucha es la que contiene los niveles de carbón explotables. El Cretácico superior está formado casi enteramente por calizas y dolomías marinas (formaciones Mosqueruela, Barranco de los Degollados y Organos de Montoro), y se hace más margoso en su parte final (formaciones La Cañadilla y Fortanete).

Los sectores este, norte y oeste de la zona están ocupados por conglomerados, areniscas, limos y arcillas del Terciario, agrupados en distintas unidades que abarcan desde el Eoceno al Mioceno inferior-medio (GONZÁLEZ y GUIMERA, 1993; SIMÓN *et al.*, 1998). Son especialmente destacables las sucesiones sedimentarias del Paleógeno (Terciario inferior) que pueden observarse en las muelas del sector oriental (Cerra y Galabardal) y en el valle del Río de Campos, al norte, así como las del Neógeno en Cobatillas y La Val, al oeste. Los conglomerados paleógenos (sobre todo los más inferiores en la serie) presentan un predominio total de cantos calcáreos y dolomíticos, procedentes de la erosión de las formaciones del Cretácico superior. Los cantos de conglomerados neógenos muestran un origen y composición más variados, por provenir de la erosión de unidades más profundas y litológicamente plura-

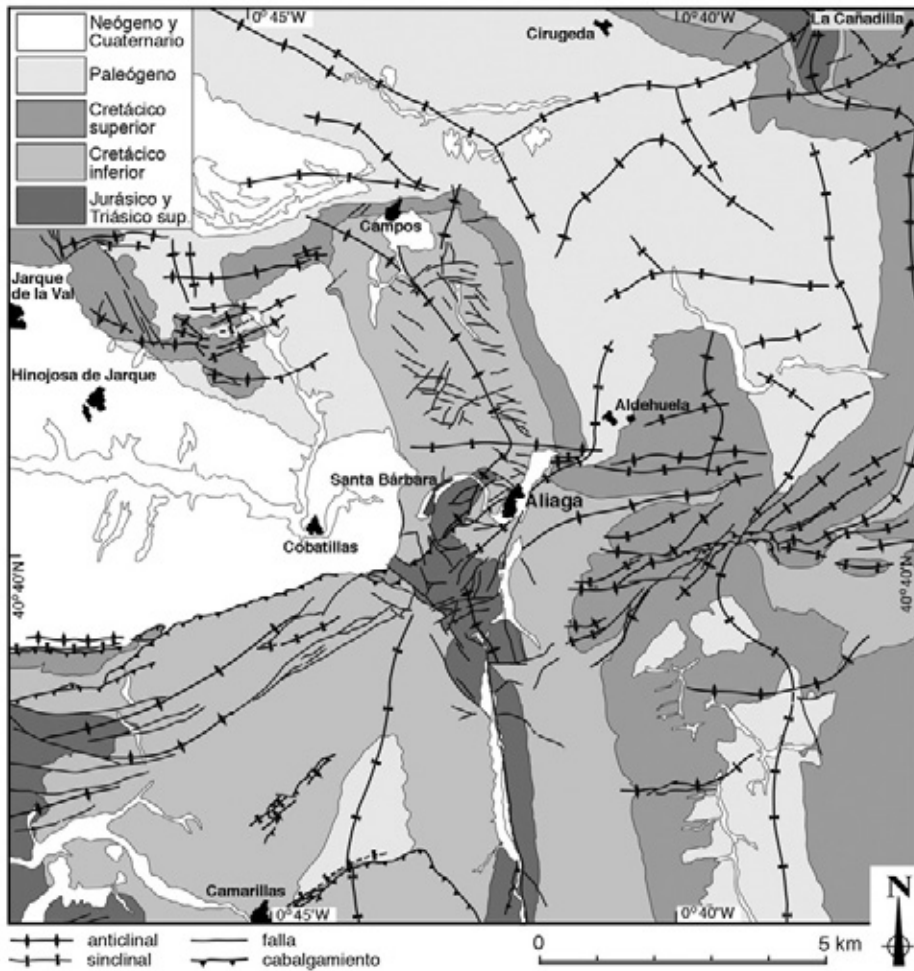


Fig. 2. Mapa geológico simplificado de la zona de estudio. El Cretácico inferior incluye la Facies Weald, la facies Urgon y las formaciones Escucha y Utrillas. La litología calcárea domina en las unidades del Jurásico, parte media del Cretácico inferior (Facies Urgon), Cretácico superior y conglomerados del Paleógeno inferior.

les. Todos estos depósitos detríticos se acumularon ya enteramente en ambiente continental, fundamentalmente en medios aluviales y fluviales. En el sector de Cobatillas-Hinojosa de Jarque se intercalan así mismo depósitos lacustres de yeso y caliza pertenecientes al tránsito Oligoceno-Mioceno.

La sedimentación del Terciario se produjo a la vez que el Mesozoico era plegado y levantado por los procesos tectónicos de la Orogenia Alpina. En la zona de Aliaga se desarrollaron dos familias de

pliegues distintos: unos de dirección N-S (anticlinal de Campos-Aliaga-Miravete y sinclinales paralelos de Camarillas y La Lastra), y otros posteriores de dirección E-W, abundantes sobre todo en una banda al sur de Aliaga. La superposición de unos sobre otros da lugar, entre otras estructuras, a pliegues de eje vertical ("serpenteantes"), entre los que destaca el anticlinal de La Olla (SIMÓN, 2004 y 2005).

Las formaciones sedimentarias y los pliegues que las afectan no estarían tan bien expuestos en el paisaje de Aliaga si no fuese por la intensa erosión que, durante el final del Terciario y el Cuaternario, los ha puesto al descubierto. La erosión arrasó a finales del Terciario los relieves creados por el plegamiento, produciendo una extensa planicie de la que ahora quedan amplios retazos conservados en La Lastra o la Loma de Camarillas. Posteriormente, el encajamiento de la red fluvial en esa planicie produjo un desgaste mayor en las rocas blandas (arcillas, arenas, margas) que en las duras (calizas, dolomías), de manera que estas últimas tienden a destacar en el relieve. Dado que los estratos se encuentran con frecuencia verticales, las capas duras forman crestas abruptas que caracterizan el escabroso relieve de Aliaga. Cuando dichas capas verticales están a la vez curvadas, las crestas dibujan formas sinuosas muy pintorescas, como en el pliegue "serpenteante" de La Olla.

CLIMATOLOGÍA

Nuestra zona de trabajo se encuentra dentro de la España mediterránea. La aridez estival es por tanto un elemento clave en su clima, si bien a nuestra altitud ésta es breve y poco severa. En Aliaga hay una precipitación media anual de unos 446 mm, con un máximo en primavera ligeramente superior al de otoño (fig. 3).

Inmersa en el Sistema Ibérico, la zona de Aliaga presenta un clima mediterráneo continentalizado, con una temperatura media anual en torno a 9-10 °C. Los inviernos son fríos; la temperatura media de los meses más fríos (diciembre, enero y febrero) está entre a 1 y 2 °C, y la media de sus mínimas ronda los -3 °C. Los veranos no son muy calurosos, dada la altitud de la zona, casi toda ella por encima de los 1.000 metros. La temperatura media en julio y agosto es de 18-19 °C, aunque con una considerable amplitud térmica diaria: media de las máximas de 26-27 °C y media de las mínimas en torno a 11 °C (ASCASO y CUADRAT, 1981; PEÑA *et al.*, 2002; RIVAS-MARTÍNEZ y RIVAS-SÁENZ, 1996-2009; *Atlas Climático de Aragón*, web).

La nieve es un elemento recurrente en los inviernos de la zona. Anualmente se dan una media de 11 días de nieve (ASCASO y CUADRAT, 1981). Sus efectos sobre la vegetación pueden ser similares a los de la aridez, puesto que en esta forma el agua no es fácilmente disponible para las plantas. Además, puede provocar daños mecánicos sobre ellas. No obstante, la nieve también desempeña un papel protector, ya que bajo su manto las temperaturas no bajan de los 0 °C y además evita la pérdida de agua por transpiración.

Las tormentas estivales son otro elemento de gran trascendencia hidrológica y ecológica. Suelen tener lugar a partir de mediados de agosto, y pueden alcanzar intensidades de 100 l/m² en 24 horas (web *Atlas Climático de Aragón*). Con ellas se termina el estiaje de los arroyos y se inicia la

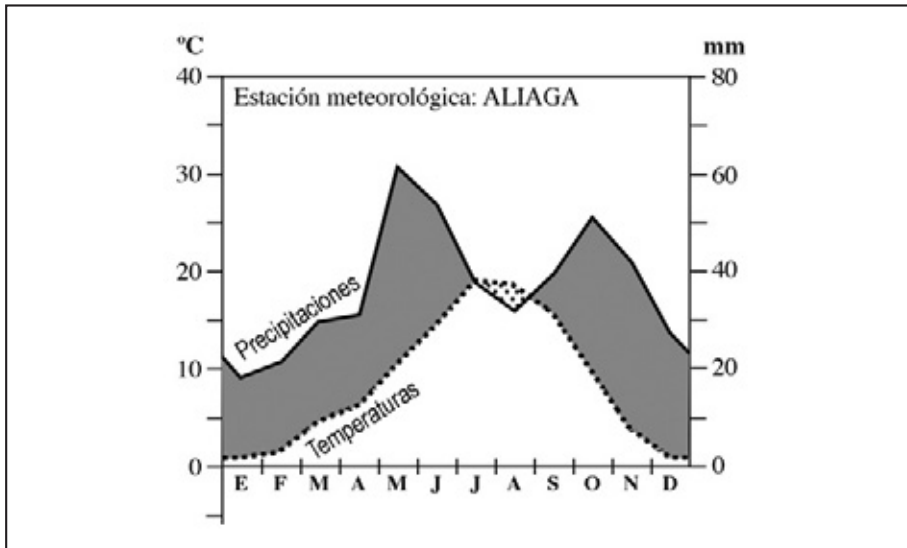


Fig. 3. Climograma de la estación meteorológica de Aliaga: valores medios mensuales de temperatura y precipitación; el área punteada representa el periodo de aridez estival de acuerdo con el criterio de Gausсен (temperatura en °C > 2 · precipitación en mm). Fuente: RIVAS-MARTÍNEZ y RIVAS-SÁENZ (1996-2009).

recuperación de la humedad del suelo tras el periodo de déficit hídrico estival. Sin embargo, también son causa de erosión acelerada en terrenos desprovistos de vegetación. La combinación (que, desgraciadamente, se produce con alguna frecuencia) de incendios forestales en julio-agosto y lluvias torrenciales en agosto-septiembre tiene consecuencias fatales en ese sentido.

HIDROLOGÍA

La escasez de lluvias, junto a la elevada permeabilidad del sustrato, hacen que el caudal de los ríos sea en general escaso. El río principal, el Guadalupe, lleva sólo entre 1 y 1,5 m³/s a su paso por Aliaga. Por la zona de estudio discurren también dos de sus afluentes de longitud apreciable y caudal permanente, los ríos de Campos y la Val. El resto de ríos, como el Regajo o el barranco de la Tejería, suelen secarse en verano, aunque también hay arroyos de corto recorrido que nacen en manantiales importantes y tienen caudal permanente (barrancos de La Clara o la Cedrilla, por ejemplo). Los demás cauces, incluso algunos importantes como la rambla de Villarroario, sólo llevan agua en épocas de lluvias.

El régimen de avenidas del Guadalupe presenta características de los ríos cortos mediterráneos, con grandes incrementos de caudal respecto a los módulos medios y con caudales máximos diarios en cualquier mes del año. Los datos del aforo de entrada al embalse de Santolea, que recoge las

aguas del alto Guadalupe y del Pitarque, muestran que se pueden llegar a alcanzar caudales máximos instantáneos cercanos a 100 m³/s (web *Anuario de Aforos 2006-2007*, CEDEX). Una estimación más precisa podemos obtenerla del aforo de Pitarque, con una cuenca similar a la del Guadalupe en Aliaga, unas condiciones geológicas y meteorológicas parecidas y un caudal medio comparable. En este aforo se han llegado a alcanzar avenidas de casi 30 m³/s. De estas avenidas, las más intensas se producen en los meses de octubre y noviembre, y las más abundantes en mayo.

EDAFOLOGÍA

Sobre los distintos tipos de sustrato geológico, y condicionados también por las circunstancias topográficas y climáticas de la zona, se desarrollan varios tipos de suelos. En ellos se manifiesta más la influencia litológica que la climática, lo que motiva un predominio de suelos azonales calcimorfos, marcadamente alcalinos y con distintos grados de evolución (QUEROL, 1995). Según el Mapa de Suelos de España (IGN, 2006), basado en la *Soil Taxonomy* de USDA (United States Department of Agriculture), aparecen en la zona de estudio dos órdenes principales de suelos:

(a) *Entisoles*, principalmente del grupo *Xerorthents*. Son los suelos de pequeño espesor que no muestran apenas diferenciación de horizontes, bien debido a una fuerte pendiente o a la dificultad de meteorización de la roca madre. Constan sólo de un horizonte A rico en materia orgánica situado directamente sobre el sustrato rocoso. En Aliaga dominan en las formaciones calcáreas del Jurásico y Cretácico, así como en los conglomerados calcáreos del Terciario. En tales terrenos pueden identificarse dos tipos de suelos definidos en la clasificación de la FAO, que se diferencian según el grado de desarrollo y la naturaleza del sustrato: (i) *Leptosoles líticos* o *litosoles*, de espesor mínimo (<10-15 cm) y asentados sobre calizas o dolomías; (ii) *Regosoles*, de espesor algo mayor (hasta 30-40 cm) y formados sobre depósitos de ladera procedentes de esas mismas rocas calcáreas. Al mismo orden pertenecen los suelos del suborden *Fluvent* (*Fluvisoles*, en la clasificación de la FAO), desarrollados sobre los sedimentos recientes que ocupan el fondo de los valles, y que experimentan un rejuvenecimiento continuo por los sucesivos aportes fluviales.

(b) *Inceptisoles*, principalmente del grupo *Calcixerepts* (aproximadamente equivalentes a los *suelos pardos calizos*, o a los *Cambisoles calcáreos* de la clasificación de la FAO). Son suelos secos y algo más evolucionados que los anteriores, que presentan desarrollo incipiente de un horizonte B cálcico. En la época estival, en que la evapotranspiración supera la precipitación, el agua que empapa sólo el terreno más somero tiene tendencia a volver hacia la superficie y acumular carbonato cálcico por debajo del horizonte A. En Aliaga estos suelos se asientan sobre las formaciones blandas (areno-arcillosas y margosas) del Cretácico inferior, y se desarrollan asimismo sobre algunos depósitos de ladera. Sobre los terrenos llanos y arcillosos de la parte occidental (Mioceno de Cobatillas-Hinojosa de Jarque y Weald de Camarillas), aprovechados en su mayoría para usos agrícolas y donde la influencia calcárea no es tan manifiesta, aparece asimismo representado el grupo *Haploxerepts*.

Las tradicionalmente denominadas *rendzinas* (*Leptosoles rendzínicos* en la clasificación de la FAO; orden *Mollisol*, suborden *Rendoll* según USDA), no son señaladas dentro de nuestra zona de

estudio por el Mapa de Suelos de España (IGN, 2006). No obstante, se mencionan con frecuencia en publicaciones e informes. Son descritas (por ejemplo en QUEROL, 1995) como suelos de profundidad modesta (hasta 40-50 cm), de perfil característico formado por un horizonte superior A de color oscuro, con abundante materia orgánica (sometido en muchos lugares a continuo rejuvenecimiento por erosión), y un horizonte inferior C formado por la roca carbonatada meteorizada. En regiones de clima templado y sustrato calcáreo, las *rendzinas* son los suelos típicos de pastizales de estepas y praderas. Se sabe que pasan lateralmente tanto a *litosoles* calcáreos, allí donde afloran calizas o dolomías duras, como a *Cambisoles calcáreos*, cuando intercalan un incipiente horizonte B de color blanquecino formado por carbonato cálcico de acumulación. Aun sin el carácter ubicuo que se les ha atribuido, es probable que sí estén representadas en áreas particularmente húmedas.

PROBLEMA DE ESTUDIO

El Parque Geológico de Aliaga surgió gracias al extenso conocimiento existente sobre la geología de la zona, cuyo enorme valor ha animado la realización de numerosos estudios monográficos desde la década de 1970. Este conocimiento está sin embargo descompensado con las nociones existentes acerca de la biota que habita el área. La componente biológica del Parque tiene también gran riqueza, la propia de gran parte del Maestrazgo, de Teruel y de todo el Sistema Ibérico en general. Así, la naturaleza turolese tiene una oportunidad excelente para darse a conocer, al menos con una pequeña muestra, a través del Parque Geológico de Aliaga.

ANTECEDENTES

Existe variada bibliografía sobre el paisaje y el medio natural turolese y en particular maestra-cense. Sin embargo, en su mayor parte se trata de libros con fines turísticos en los que no se profundiza en demasía sobre las especies que habitan estas zonas. Estos textos generales y afines a nuestro trabajo permiten de todos modos una aproximación importante a nuestro estudio.

Existen también bastantes trabajos científicos acerca de la flora y fauna de la provincia, muchos de ellos publicados en la revista *Teruel* o editados por órganos de la Administración local y provincial (BOURRUT, 2007); también en revistas científicas o actas botánicas de publicación nacional. En general, existen dos tipos de trabajos, los dedicados a determinadas áreas geográficas (PONZ-MIRANDA, 2005; MATEO SANZ *et al.*, 2003) y los dedicados a determinados grupos taxonómicos (ALCALDE *et al.*, 2008). Así pues, podemos concluir que sí existe mucha información relativa a la biota turolese, aunque hemos encontrado que en ocasiones algunos trabajos permanecen desconocidos incluso por los entendidos en el tema.

Si bien la información a escala provincial puede considerarse incluso abundante, no puede decirse lo mismo de la información relativa a la zona de Aliaga. La información disponible a este respecto se limita a citas dispersas en trabajos del segundo tipo, dedicados a grupos taxonómicos concretos, y, aunque sí hay trabajos en áreas próximas, no existe a día de hoy un trabajo que revise la biodiversidad aliaguina.

OBJETIVOS

Este trabajo pretende subsanar en la medida de lo posible el vacío de información al que acabamos de aludir. Pretendemos abordar de forma general, pero rigurosa, el conocimiento sobre la biota existente en el entorno de Aliaga. El fin último es elaborar una base ordenada de conocimientos para una futura guía de flora y fauna del Parque Geológico de Aliaga, que sirva al visitante que esté interesado en los dos grandes aspectos del medio natural de la zona, la geología y la biología.

En concreto, los objetivos del trabajo son:

- 1) Inventariar las comunidades vegetales, especies animales y enclaves ecológicos singulares.
- 2) Ubicar dichas comunidades, especies y enclaves; en particular, elaborar un mapa de vegetación del territorio del Parque Geológico.
- 3) Contrastar las referencias bibliográficas existentes con las observaciones *in situ*, y situar la vegetación y la fauna de Aliaga en su contexto biogeográfico.
- 4) Analizar las relaciones entre la geología y la vegetación.

METODOLOGÍA

MAPA DE VEGETACIÓN Y CORRELACIÓN CON VARIABLES GEOLÓGICAS Y TOPOGRÁFICAS

Se ha elaborado un mapa de la vegetación del área de estudio basado en el reconocimiento sobre el terreno y con el apoyo de las ortoimágenes de satélite que pueden obtenerse en el sitio web del Servicio de Información Territorial de Aragón (SITAR). Su elevada resolución (escala óptima de visualización 1:5000) permite un reconocimiento bastante preciso de los tipos de comunidades o formaciones vegetales que ocupan cada porción del territorio, una vez que éstas han sido reconocidas sobre el terreno y nos hemos familiarizado con la textura que producen en la ortoimagen. Cada mancha cartografiada representa un área en que una comunidad es predominante; por supuesto, existen zonas de transición y mezcla con especies propias de otras comunidades, pero esa circunstancia no ha podido ser reflejada a la escala de trabajo. En el caso de las formaciones arbustivas, la adición de símbolos puntuales que representan algunas especies más significativas sirve para indicar el predominio de éstas en ciertas zonas.

A partir del mapa de vegetación, se ha realizado una correlación espacial de la distribución de las comunidades climáticas y de algunas formaciones arbustivas más significativas con los factores condicionantes de tipo geológico y topográfico (sustrato, altitud, orientación y pendiente). Se ha seguido para ello un procedimiento simple de tipo SIG, basado en el establecimiento de una retícula de 250 x 250 m a partir de la cuadrícula UTM. En cada celda se ha consignado la presencia significativa (50 % de celda ocupada) de alguna de las formaciones vegetales reseñadas, junto a los valores o categorías asignadas a cada uno de los cuatro factores. El análisis comparativo se ha realizado mediante la aplicación EXCEL de Microsoft, y se ha plasmado en gráficos estadísticos generados automáticamente por dicha aplicación.

RECOLECCIÓN DE PLIEGOS

La flora del área de estudio se ha inventariado mediante diversos recorridos que cubren la totalidad de los hábitats, los lugares más representativos y también los más singulares de la zona. Se han realizado reconocimientos a lo largo de un año entero, con especial hincapié en la estación primaveral debido a la floración, durante ella, de muchas plantas anuales. Durante estos recorridos se tomaron pliegos y fotografías de aquellas especies que no pudieron ser identificadas *in situ*, para su reconocimiento posterior con el uso de claves, contrastando los resultados con la bibliografía existente y la consulta a expertos.

CENSOS DE FAUNA

Entre enero de 2008 y junio de 2009 se llevaron a cabo varios censos de 3-4 horas de duración y a lo largo de hasta cinco transectos ubicados en distintos ambientes dentro de la zona de estudio. Durante la realización de estos censos se intentó detectar el mayor número posible de especies de los grupos en estudio. En la práctica el énfasis se puso en la detección (visual o auditiva) de la avifauna, el grupo más conspicuo. La detección de individuos de otros grupos (herpetofauna y mamíferos) no pasó de ser anecdótica. Se prestó atención también a la presencia de rastros y huellas.

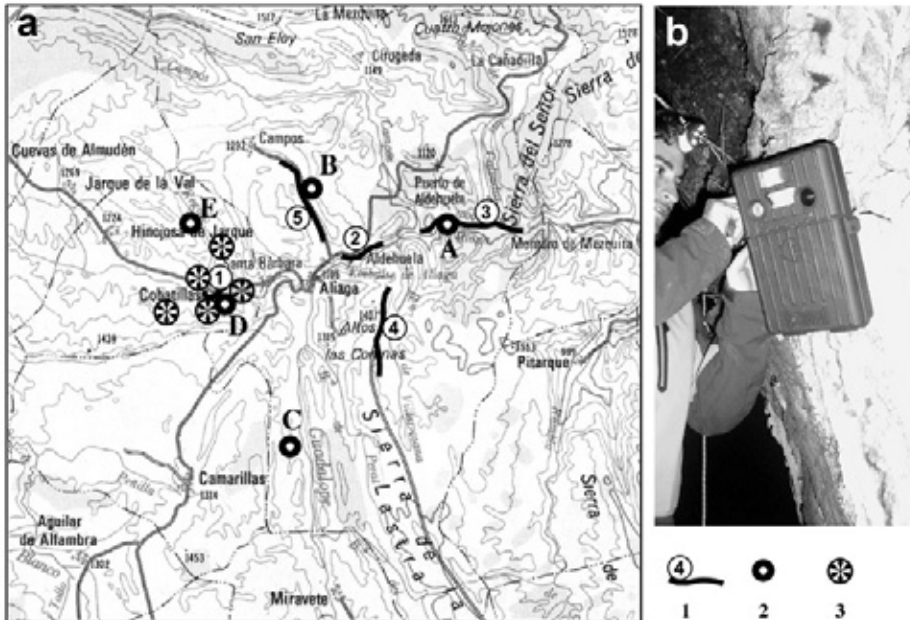


Fig. 4. (a) Mapa de situación de los transectos de observación de fauna (1), de los puntos de realización de los censos de aves nocturnas del programa NOCTUA (2), y de ubicaciones de la cámara para trampeo fotográfico (3). (b) Cámara de fototrampeo.

Los cinco transectos de censo, correspondientes a los ambientes principales que se pueden encontrar en la zona de estudio, fueron los siguientes (fig. 4a):

- (1) *Río de la Val*: recorrido entre Cobatillas y el río de la Val a lo largo de 1 km, en una zona de huertas y bosque de ribera dominado por chopos cabeceros. Zona especialmente indicada para encontrar especies de ribera y urbanas.
- (2) *Embalse de la Central Térmica de Aliaga*: recorrido de 1,2 km en torno al embalse de Aliaga, con panorámica hacia las zonas circundantes caracterizadas por fuertes pendientes y escasez de suelo. En esta área se buscan especies ligadas a láminas de agua de notable entidad y de hábitat rocosos.
- (3) *Muela del Galabardal*: transecto que va desde la masía de La Tosca hasta la masía de La Puente (3,5 km), en un ambiente forestal y ripario rodeado de escarpadas paredes rocosas de hasta 300 m de altura. Su objetivo fue la detección de especies típicas forestales y el avistamiento de otras propias de la alta montaña.
- (4) *La Lastra*: a lo largo de 3 km, se recorre uno de los páramos de mayor altitud de la zona para desembocar en un singular bosque ombrófilo y caducifolio en su ladera norte. Éste se rodea de cultivos abiertos y pastizales. Este recorrido nos permite acceder, en una distancia relativamente corta, a muy distintos y particulares hábitats, con la consecuente variedad potencial de especies residentes.
- (5) *Carretera de Campos*: tramo de unos 3 km a lo largo de la carretera de Aliaga a Campos, jalonado por manchas de carrascal y roquedo. Las especies objetivo de este transecto son especialmente aquellas características de hábitats abiertos y secos. Por su exclusividad, se incluyó además un punto de censo en un cortado rocoso al norte de la población de Campos, sobre el barranco de la Tejería. Otro anexo a este recorrido fue el hábitat ripario del barranco de la Hoz, al oeste del km 3 de la citada carretera.

Los censos diurnos se completaron con censos nocturnos de avifauna siguiendo el protocolo del programa NOCTUA de la Sociedad Española de Ornitología. Dicho protocolo consiste en la realización de cinco estaciones de escucha de 10 minutos cada una en diferentes hábitats de la zona, en puntos lo suficientemente separados entre sí. Los puntos de escucha establecidos han sido (fig. 4a): (A) pinar al pie de la Muela del Galabardal, junto al río Guadaloque; (B) carretera de Campos, bajo carrascal; (C) sabinar de la carretera de Miravete; (D) El Rollo, junto a Cobatillas; (E) Los Corralicos, en el valle del río Regajo. Los censos se realizaron tres veces a lo largo del año: en abril, junio y octubre, y en ellos se identificaron todas las aves nocturnas que se detectaron por el canto.

TRAMPEO FOTOGRÁFICO

Se realizó un trampeo fotográfico continuado desde el mes de septiembre de 2008 hasta septiembre de 2009 con el objetivo principal de capturar imágenes de mamíferos. Para ello se utilizó una cámara fotográfica de camuflaje, con disparo activado por un sensor infrarrojo de movimien-

tos, modelo Busnell Trail Scout Pro (fig. 4b). Ésta se instaló escondida en lugares óptimos de la zona de estudio con características de pasos naturales de fauna y concentrados en el ambiente ripario, sitio de congregación de diversas especies que pueden acudir a beber.

La cámara fue revisada mensualmente para su mantenimiento, reubicación y recogida de datos (fotografías contenidas en la tarjeta de memoria). Se colocó sucesivamente en un total de cinco puntos estratégicos localizados en el sector occidental de la zona de estudio (fig. 4a), camuflada en la mayoría de las ocasiones en el tronco de chopos.

CONTRASTACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Hoy en día el recurso más accesible y empleado es internet, por lo que la búsqueda bibliográfica comenzó con la exploración de material disponible en red. El acceso directo a información fiable en internet no es difícil ya en estos tiempos, si bien el problema, casi al contrario, es ser capaz de encontrar y procesar, entre toda la información disponible, aquella que es de interés. Es de destacar la utilidad de páginas web con enlaces de interés; por ejemplo, la página <http://www.jolube.net/>, dedicada a la botánica, o el *Fichero Bibliográfico Aragonés*, que incluye citas de gran cantidad de trabajos sobre distintos temas y acceso directo a algunos de ellos, como en el caso anterior. El procesamiento de toda la información, no obstante, sigue siendo muy difícil. Por ello se decidió tomar como base un único recurso web para la revisión de cada grupo.

En el caso de la flora se eligió el Herbario de Jaca, que consideramos muy útil y fiable. Este sitio web incluye buscadores de los taxones por la especie o el género, pero también opciones de búsqueda de los taxones existentes por municipios o por cuadrículas UTM. El inventario del municipio de Aliaga es muy completo, aunque en campo hemos encontrado algunos taxones que faltan en la lista (si bien suelen encontrarse en cuadrículas UTM cercanas).

Para la fauna de Aragón, en general, no existe en la web ningún catálogo tan completo y fiable como el señalado para la flora. Esta carencia se suplió con la bibliografía escrita. Los únicos recursos on line con información directa en los que nos hemos apoyado han sido la página del Museo Nacional de Ciencias Naturales *Vertebrados Ibéricos* (SALVADOR, 2009), que se empleó como inventario de referencia, y el *Atlas de Identificación de las Aves de Aragón* (www.javierblasco.arrakis.es), que contiene gran información sobre especies aunque no tanta en lo referente a su distribución.

Existen páginas web de algunas comarcas o municipios turolenses con información acerca de su riqueza natural (como la comarca de la Comunidad de Teruel, con un inventario medioambiental de recursos naturales a nivel de municipio); por el contrario, la exploración en red puso de manifiesto la escasez de información rigurosa al respecto en la zona de Aliaga. Ni en la página web de la comarca de las Cuencas Mineras ni en la del Ayuntamiento de Aliaga, que es compartida con el Parque Geológico, aparece información sobre la fauna o la flora. Este trabajo espera servir también como ayuda para subsanar este vacío.

Entre la bibliografía botánica de utilidad a nivel nacional destacamos la valía del tratado de COSTA-TENORIO *et al.* (2001) sobre *Los bosques ibéricos*, una obra de gran precisión teniendo en

cuenta la amplitud del territorio que abarca. Si bien no sirve (ni es su intención) para conocer con exactitud los taxones presentes en una zona concreta como la nuestra, da una visión completa de las formaciones que encontramos en ella, tanto de las dominantes como de aquellas ciertamente singulares que también es posible encontrar.

Dentro de la provincia cabe destacar sin duda la gran cantidad de publicaciones de calidad del Instituto de Estudios Turoleses, a las que se añaden también publicaciones e informes auspiciados por el Gobierno de Aragón y por centros de estudios locales y comarcales (FABREGAT y LÓPEZ, 1996; PITARCH, 2000). Si bien todas dan una visión más cercana y certera de la zona de Aliaga en cuanto a los taxones existentes, es de reseñar que la lista más completa y exacta que se puede encontrar es el inventario de la flora turolese de MATEO SANZ (1990), que incluye todos los taxones presentes en la provincia y las citas de las localidades en las que se encuentran. Numerosos taxones incluidos en este trabajo se han citado tras contrastar la información proporcionada por este inventario con el del Herbario de Jaca. Merece también ser citado el trabajo de RIVAS-GODAY y BORJA (1961) sobre la flora de las sierras de Gúdar y Javalambre, muy extenso y afín al territorio aliaguino.

El caso de la fauna es similar: no existen trabajos hasta la fecha centrados en el área de Aliaga. Los trabajos sobre taxones concretos para otras áreas próximas de Teruel (GALINDO, 1965; LIBEROS *et al.*, 2006), a nivel provincial (GIL-DELGADO, 2005) o de Aragón (SAMPIETRO *et al.*, 2000), así como alguna aproximación divulgativa (<http://comunidad.deteruel.es/>), permiten completar o robustecer una visión general de la fauna de Aliaga a través del papel, visión en la que se integran por supuesto los grupos faunísticos fuera del ámbito de nuestro trabajo (ver GALÁN, 1958; PÉREZ-ONTE-NIENTE y RODRÍGUEZ-BABÍO, 2007; ZAPATER, 1894). La falta de información disponible a esta escala en algunos grupos o aspectos se ha completado o contrastado con los Atlas y Libros Rojos a nivel nacional de los distintos grupos de vertebrados estudiados (MADROÑO *et al.*, 2004; PALOMO *et al.*, 2007; PLEGUEZUELOS *et al.*, 2002), publicaciones de carácter oficial y gran fiabilidad.

Las especies amenazadas, también presentes en la zona de Aliaga, merecen especial consideración en la bibliografía. Estos trabajos, que consideran tanto la flora como la fauna, profundizan en la biología de las especies y su estado de conservación, pero no al nivel local objeto de este trabajo. Además de los catálogos a nivel nacional, en Aragón contamos con el Catálogo de especies amenazadas del Gobierno de Aragón (1995), en el que se incluyen 136 taxones vegetales y 93 animales (computando también las especies no evaluadas). De estos taxones, nosotros citamos 2 y 21, respectivamente, como presentes (al menos potencialmente) en Aliaga.

Por último, un recurso bibliográfico muy necesario para el trabajo de campo son las guías y claves para la identificación de especies tanto vegetales como animales. Mientras que en el primer caso existen textos especializados en nuestra región (MATEO SANZ, 1992), de nuevo no ocurre lo mismo en el caso de la fauna, para la cual se emplearon guías más generales (JUANA y VARELA, 2005; MULLARNEY y SVENSSON, 2006; PURROY y VARELA, 2005; BROWN *et al.*, 2003).

VEGETACIÓN Y FLORA

INTRODUCCIÓN

La vegetación de la zona de Aliaga se encuadra, según la clasificación biogeográfica de RIVAS-MARTÍNEZ *et al.* (2002), en la Provincia Mediterránea Ibérica Central, Subprovincia Oroibérica, Sector Ibérico Maestracense, Distrito Gudárico.

Dentro de esta zonificación biogeográfica, la vegetación varía a lo largo de un gradiente altitudinal, en el cual los principales factores determinantes para las comunidades vegetales son los cambios en la temperatura y las precipitaciones. Al aumentar la altitud, la temperatura en general disminuye y las precipitaciones aumentan. Asimismo, la evapotranspiración tiende a decrecer, si bien ésta está también fuertemente condicionada por la exposición a la radiación solar y, por tanto, por la orientación de las laderas. La combinación de todos estos parámetros define la seriación de los distintos pisos bioclimáticos, distinguiéndose el control que ejercen, por un lado, la temperatura y la continentalidad (termotipos) y, por otro, la precipitación y la exposición (ombrotipos). Los pisos (termotipos) que encontramos representados en el área de Aliaga son el supramediterráneo (hasta los 1.400-1.600 metros de altitud, con una temperatura media anual menor de 12 °C y la media del mes más frío menor de 4 °C) y el oromediterráneo (a partir de esas alturas, con media anual menor de 8 °C y, para el mes más frío, media negativa) (RIVAS-MARTÍNEZ, 1981). El piso supramediterráneo comprende la mayor parte del área estudiada y dentro de él pueden distinguirse los ombrotipos seco-subhúmedo y subhúmedo. Los diferentes pisos y ombrotipos albergan comunidades vegetales distintas que, por otra parte, están en todo caso adaptadas a los suelos predominantemente calcáreos de la zona.

El estudio y descripción de las comunidades vegetales (fitocenosis), en el contexto de la zonificación biogeográfica y dentro de los pisos bioclimáticos, es una ciencia muy antigua y en la que concurren distintas escuelas. La del citado RIVAS-MARTÍNEZ (1981) es una de las de mayor aceptación, y lleva consigo una clasificación de las comunidades vegetales (sintaxonomía) sigmatista, es decir, basada en parte en la presencia de especies características o "clave". En el sistema fitosociológico las comunidades vegetales se clasifican en asociaciones, que es la unidad más pequeña de una jerarquía compleja; se corresponden con un tipo concreto de comunidad vegetal, con especies características y diferenciales propias, y se circunscriben a una región determinada. Si bien consideramos significativa y fácil la categorización de los distintos pisos bioclimáticos, la sintaxonomía sigmatista tiene una gran complejidad tanto en su estructura como en su nomenclatura. Por ello, aunque las principales series de vegetación existentes en Aliaga se citarán al final, de cara a comprender las etapas de sucesión de las comunidades, hemos optado por hacer una aproximación menos dogmática y más asequible para el lector no experto y el visitante del Parque Geológico de Aliaga.

A continuación pasamos a describir las comunidades vegetales que caracterizan cada uno de los pisos bioclimáticos citados (comunidades climáticas), tal como aparecen en el área del Parque Geológico. Posteriormente describiremos aquellas otras formaciones vegetales que representan distintos estadios de degradación de las anteriores, a los que se ha llegado fundamentalmente por la pre-

sión antrópica sobre el medio en los últimos siglos. Por último, trataremos más brevemente la vegetación de ribera (el tipo más relevante de vegetación azonal en nuestra área de estudio) y algunos enclaves singulares de vegetación relictica o excepcional. Por sus características particulares y por su complejidad, el estudio específico de otros tipos de vegetación azonal, como la ripícola (la que coloniza los cantiles rocosos), la ruderal (orillas de caminos y poblaciones) o la arvensa (asociada a los cultivos), rebasa los objetivos de este trabajo.

COMUNIDADES VEGETALES CLIMÁICAS (FITOSOCIOLOGÍA)

Piso supramediterráneo

El piso supramediterráneo del sector maestracense cuenta con cuatro asociaciones de carácter forestal, que se distribuyen el espacio en función de los diversos parámetros ambientales: el carrascal, el quejigar, el pinar de *Pinus nigra* y el sabinar (fig. 5).

El carrascal

El encinar o carrascal es el bosque mediterráneo por excelencia, y constituye la comunidad climax potencial en los suelos calcáreos del interior peninsular dentro del dominio de ombroclima seco-subhúmedo. En la zona de Aliaga la especie dominante es la carrasca (*Quercus ilex* ssp. *ballota* = ssp. *rotundifolia*), un árbol de porte generalmente pequeño, hojas redondeadas y coriáceas y fruto dulce (fig. 5a,b). Se trata de un endemismo ibero-norteafricano muy plástico y rústico, que está perfectamente adaptado al frío invernal y a la sequía estival propios de los ambientes mediterráneos subcontinentales.

La esclerofilia es un rasgo típico de este bosque, que es compartido por gran parte de la vegetación de la zona. Las cutículas gruesas de las hojas, el desarrollo de lignina y la ocultación de los estomas evitan la pérdida de agua durante el periodo seco. Estos elementos disminuyen la eficacia de la fotosíntesis, por lo que el número de hojas es grande.

Estas formaciones son bastante abiertas, y con un sotobosque más pobre que el de los encinares de *Quercus ilex* ssp. *ilex* de las zonas de clima más suave. Como especies acompañantes en el sotobosque del carrascal supramediterráneo aparecen enebros (*Juniperus communis* y *J. oxycedrus*), aliaga (*Genista scorpius*; fig. 6g), tomillo (*Thymus vulgaris*), salvia (*Salvia lavandulifolia*), ajedrea (*Satureja montana*) y espliego (*Lavandula latifolia*), entre otros. Las herbáceas tienen poca importancia; pueden encontrarse *Astragalus incanus*, *Artemisia* sp., *Linum narbonense*, *L. sufruticosum*, *Rubia peregrina*...

En la ladera que hay sobre la carretera de Aliaga a Campos (al este de la misma), encontramos un buen ejemplo de esta comunidad. Se observan allí muchos individuos jóvenes, lo que da idea de un alto grado de reclutamiento. Muchas de las carrascas muestran porte arbustivo, con ramificaciones cerca de la base, mostrando así su capacidad de rebrote a partir de tocones y su buena adaptación a las condiciones del clima mediterráneo. La encina es capaz de rebrotar después de un fuego, producto de los incendios naturales provocados por las tormentas de verano, o después de una

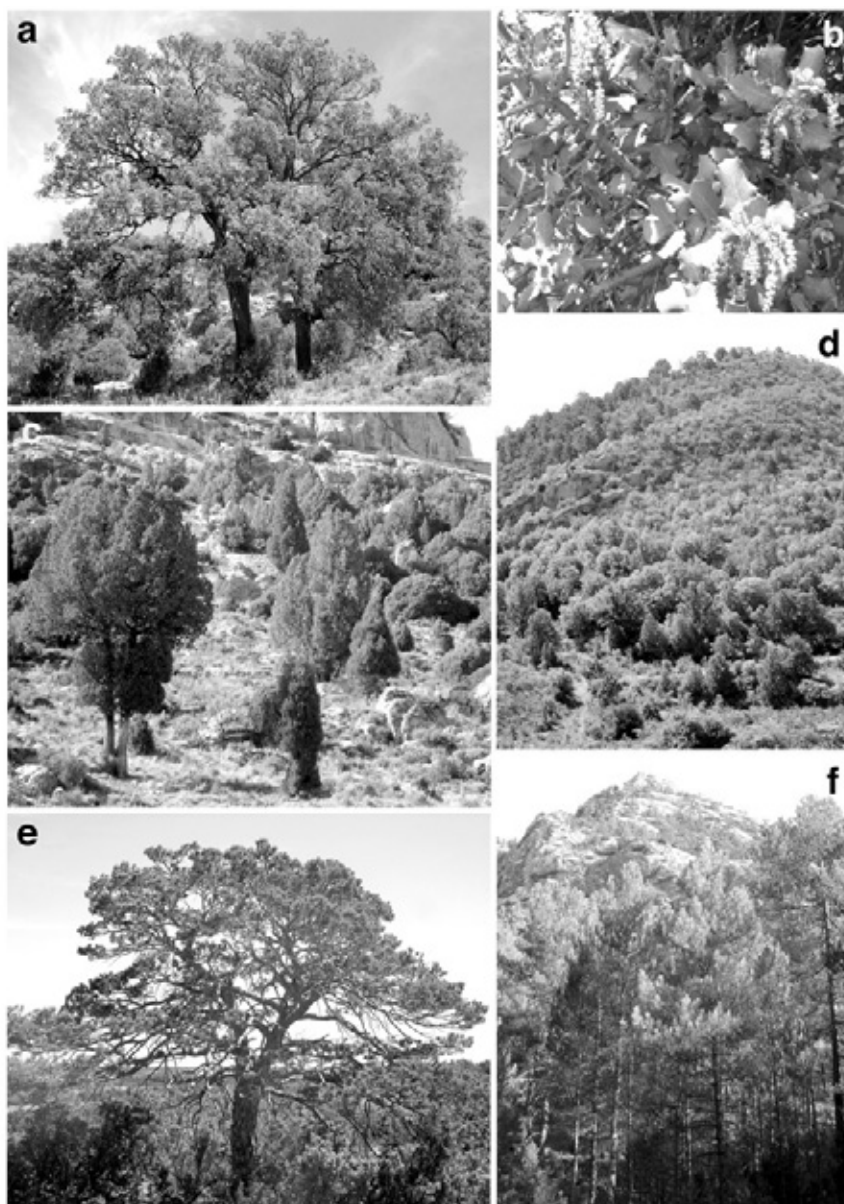


Fig. 5. Vegetación arbórea climática. (a) Carrasca, *Quercus ilex* ssp. *ballota*; ladera de La Lastra. (b) Detalle de hojas e inflorescencias de la carrasca. (c) Sabinar albar, *Juniperus thurifera*; sur de Aliaga. (d) Rebollar, *Quercus faginea*; bajo cornisa de La Lastra. (e) Pino albar, *Pinus sylvestris*; La Lastra. (f) Pinar de *Pinus nigra*; Muela del Galabardal.

corta a ras del suelo. Las acompaña un sotobosque de enebro común, sabina negra (*Juniperus phoenicea*), aliaga, salvia, tomillo y *Stahelina dubia*, junto con otras especies como *Aristolochia pistolochia*, *Fumana thymifolia*, *Galium verum*, *Leuzea conifera* (Piña de San Juan), *Echinops ritro*, *Cirsium arvense* o *Scolymus hispanicus*. Pequeñas masas de guillomo (villomo; *Amelanchier ovalis*; fig. 6b) aparecen aisladas en algunos rodales de canchal dentro y en los márgenes del carrascal.

El quejigar o rebollar

El quejigo o rebollo (*Quercus faginea*) es un árbol de distribución ibero-norteafricana, abundante en toda la Cordillera Ibérica, que ocupa áreas más húmedas que el carrascal (ombrotipo subhúmedo). Forma uno de los tipos de bosques de mayor valor ecológico en la zona (fig. 5d). Tiene tronco derecho, corteza grisácea o parda, copa grande, algo laxa, y aunque pueden alcanzar hasta los 20 metros de altura, en nuestra zona de estudio tienen como máximo unos 10 metros. Sus hojas coriáceas están adaptadas a la mediterraneidad, y son marcescentes, es decir, se mantienen marchitas sin desprenderse durante el invierno hasta que son reemplazadas en primavera.

Esta especie ha sido muy perjudicada por la deforestación humana. Tras el abandono de los cultivos y la recesión de la ganadería extensiva, ha podido regenerarse en alguna medida sólo donde han quedado suelos de suficiente profundidad y riqueza, condiciones que esta especie requiere en mucha mayor medida que otros árboles del entorno. En consecuencia, existen en nuestros días pocas manchas de quejigar relicto en Aliaga, en reductos con suelos más frescos y profundos. Las de mayor extensión se encuentran en las laderas umbrías de los barrancos que descienden desde el alto del Cantalar y el Cabezo de la Muerte hacia el río de la Val, entre Cobatillas y el barrio de Santa Bárbara.

En estos enclaves el rebollo está acompañado por otras especies arbóreas y arbustivas como arces (*Acer monspesulanum*, *A. opalus* spp. *granatense*), mostajo (*Sorbus aria*) y serbal (*S. domestica*), y por un sotobosque de enebro común, gayuba (*Arctostaphylos uva-ursi*), *Prunus mahaleb*, aligustre (*Ligustrum vulgare*), endrino (*Prunus spinosa*), agracejo (agrillo, uvas de pastor; *Berberis vulgaris*; fig. 6e), *Rhamnus* s.p. y gamón (*Asphodelus cerasiferus*). Entre el matorral de menor porte y las herbáceas podemos encontrar *Aster aragonensis*, *Cephalanthera* sp., *Epipactis helleborine* y una especie de violeta muy característica: *Viola willkommii*.

La vitalidad del quejigar en la zona de Aliaga, en sustratos adecuados (con suelo de espesor suficiente) y vertientes umbrías, es notoria. Como muestra, cabe aducir la regeneración extraordinariamente rápida que han experimentado los rebollos en el monte de repoblación de *Pinus nigra* que hay en la vertiente oeste del barranco del Hocino, unos 3 km al sur de Aliaga (fig. 10). Unos 20 años después de la plantación de los pinos, los rebollos han nacido espontáneamente entremezclados con ellos y los superan en altura en muchos casos.

El pinar de Pinus nigra

Los pinares suelen ser infravalorados por creerse siempre introducidos, pero en muchos casos, bajo cierta limitación edáfica o climática, los pinares en la Península son climácicos. Algunos de los

que se encuentran en la zona de Aliaga alcanzan cierto grado de madurez y tienen características propias de estadios avanzados de la sucesión, aunque probablemente en situación pseudoestable (QUEROL, 1995).

Los pinares naturales de pino negral, laricio o salgareño (*Pinus nigra* ssp. *salzmannii*) ocupan en nuestra zona de estudio las áreas de menor altitud, generalmente por debajo de los 1.300-1.400 m. *P. nigra* tiene porte arbóreo, recto, y suele alcanzar en Aliaga alturas de hasta 15 metros (fig. 5f). Tiene corteza gris oscura y copa de coloración verde clara. Sus largas acículas se disponen densamente en los extremos de las ramas; las piñas son pequeñas y amarillentas. Esta especie es preferentemente basófila, muestra buen desarrollo en sustratos calcáreos y gran longevidad. Crece también sobre otros sustratos, y en un rango amplio de altitudes (en la provincia de Teruel, entre los 500 y 1.700 metros), lo que da cuenta de su naturalidad. El *Pinus nigra* es en muchos casos una especie que compite con los *Quercus*. En suelos profundos y en ausencia de intervención humana, son éstos los que tienden a desplazar al pinar; en escarpes rocosos, por el contrario, el pino presenta mejores estrategias de reproducción.

En condiciones naturales, esta formación abunda en la parte oriental de la zona de estudio, extendiéndose desde La Aldehuela hacia el este, por las muelas del Galabardal y Cerra hasta Cirugeda y La Cañadilla¹. En el resto de la zona existen pequeños pinares de repoblación (plantados en su mayoría en la década de 1960), que han ido prosperando con desigual fortuna en función de los tipos de suelo, la orientación de las laderas y la competencia con otras especies (QUEROL, 1995). Merecen destacarse las manchas que pueblan la Loma de Camarillas, la Val de Pérez, o las laderas que descienden del Cabezo de la Muerte y la Loma del Tormo hacia los ríos de la Val y Guadalope.

Los pinares de *P. nigra* en Aliaga son densos y se acompañan de guillomo, algunos pies de mostajo y serbal, enebro común, *Rosa pimpinellifolia*, *Acer opalus* ssp. *granatense* y *A. monspessulanum*, algustre, agracejo, madreSelva (*Lonicera etrusca*), lantana o mentironera (*Viburnum lantana*), *Rhamnus saxatilis* y *Clematis vitalba*. En zonas de solana degradadas, el matorral del pinar contiene asimismo *Ononis fruticosa*.

En el estrato herbáceo vemos *Hepatica nobilis*, *Aster sedifolius*, hiedra (*Hedera helix*), *Lathyrus filiformis*, *Paeonia officinalis* ssp. *humilis*, *Tanacetum corymbosum*, *Primula veris* ssp. *columnae*, *Geranium sanguineum*, *Helleborus foetidus*, *Bupleurum rigidum*, *Geum sylvaticum*, *Thalictrum tuberosum*, *Vicia onobrychioides*, *Filipendula vulgaris*, *Viola alba*, *Leucanthemum vulgare*, *Fragaria vesca*, algunas orquídeas (*Cephalanthera*, *Orchis*, *Epipactis*...) y otras gramíneas cespitosas (*Avenula*, *Brachypodium*, *Arrhenaterum* y *Bromus*).

1 Desgraciadamente, una parte importante de esta masa forestal se perdió durante el incendio desatado el 22 de julio de 2009, que se inició en la ladera sur de la Muela Cerra y se extendió con rapidez hacia el N y NE, devastando más de 8.000 hectáreas de los términos municipales de Aliaga, Ejulve, La Zoma, Cañizar del Olivar, Pitarque y Villarluengo.

Una de las masas más densas y maduras puede verse en la ladera norte de la Muela del Galabardal, especialmente en su parte inferior, contigua al río Guadalope (fig. 5f). Este pinar no está sometido a clareo sistemático y presenta una elevada densidad de pimpollos (hasta 6 pies/m²). *P. nigra* está aquí acompañado de enebro común, sabina negra (*Juniperus phoenicea*), guillomo, agracejo, hiedra, *Aster sedifolius*, alguna aliaga... También aparecen el majuelo (espino albar, bizcoda; *Crataegus monogyna*; fig. 6d), arces, algún avellano (*Corylus avellana*) y sauces (*Salix alba*) en los contactos con el curso fluvial.

El sabinar

Las formaciones de sabinas son, por su composición y estructura, los bosques más originales y particulares de la Península Ibérica, puesto que es aquí donde cuentan con su mayor representación. Los sabinares se consideran la comunidad climácica de los páramos calizos de la Cordillera Ibérica, en cuyas condiciones (suelos exiguos; clima frío, contrastado, seco y luminoso) el carrascal no constituye un serio competidor (COSTA-TENORIO *et al.*, 1987). Algunos autores afirman que esas condiciones son similares a las que imperaban a finales del Terciario, y que el sabinar representa el testimonio de un paisaje vegetal que dominó la región en aquella época y que se ha mantenido relicto hasta nuestros días (COSTA-TENORIO *et al.*, 2001).

El sabinar alcanza en la Cordillera Ibérica su máxima extensión, apareciendo entre los 900 y 1.400 metros de altitud. Estos bosques son atípicos por ser muy abiertos. Esto es debido tanto a la acción del pastoreo como a la pobreza de los suelos en los que se asientan, que induce al gran desarrollo radical de las sabinas. Además, hay que tener en cuenta el gran requerimiento de luz que los brinzales tienen para crecer. La sabina no tiene apenas competidores en estos ambientes, en los que le acompaña prácticamente sólo el enebro.

La sabina albar (*Juniperus thurifera*) es un árbol de tronco robusto y corteza estriada longitudinalmente (fig. 5c). Las hojas son de color verde oscuro y escuamiformes (con forma de escamas imbricadas), y se disponen de dos en dos, una frente a otra, alternado 90° en cada nudo. Las arcéctidas son de color negro o morado. Esta especie no tiene preferencias edáficas; es el árbol con mayor resistencia y amplitud ecológica de la Península. Tolerante a altos grados de continentalidad y también de sequía, a la vez que es capaz de crecer (siempre muy lentamente) en ausencia casi total de suelo.

La sabina negra (*Juniperus phoenicea*) se distingue de la sabina albar por el color rojo de sus arcéctidas y por la disposición de sus hojas escuamiformes, que se suceden de tres en tres. La sabina negra no forma masas continuas; sus ejemplares se encuentran dispersos en repisas rocosas o como acompañante de la sabina albar. Es muy resistente a la continentalidad, más xerófila que la albar pero también más termófila, por lo que tiende a predominar en altitudes menores. Asimismo, es altamente resistente al viento. Su capacidad de crecimiento en las condiciones más adversas supera, si cabe, a la de su hermana. Un ejemplo de su rusticidad lo encontramos en las paredes verticales en caliza que forman los márgenes del río Guadalope en el Estrecho de Aldehuela y en Boca

Infierno; en sus grietas crecen ejemplares de tronco grueso y porte pequeño, algunos de los cuales constituyen auténticos "bonsáis" (fig. 11d).

Las sabinas están acompañadas casi siempre por enebros, especialmente por enebro común (*Juniperus communis*; fig. 6c), y también localmente (en Muela Cerra) por enebro de Miera o cada (*J. oxicedrus*). En muchas zonas los enebros llegan a predominar, y la formación se convierte realmente en un enebral. Los enebrales y los sabinares-enebrales de Aliaga son siempre formaciones arbustivas; sólo el sabinar albar llega a formar masas arbóreas. No tenemos conocimiento de la existencia de ningún enebro de porte arbóreo en la zona estudiada.

El sotobosque del sabinar y del sabinar-enebral es un matorral con poco desarrollo, el único que puede crecer en esas restrictivas condiciones. Las especies que forman este matorral son aliaga, salvia, espliego, tomillo común, ajedrea y *Teucrium chamaedrys* como especies principales. También podemos encontrar *Artemisia*, *Leuzea conifera*, *Lithodora fruticosa*, erizo (*Erinacea anthyllis*), *Leucanthemum vulgare*, *Eryngium campestre*, *Sideritis* sp., *Onobrychis* sp., *Linum* sp., *Phlomis* sp., *Potentilla* sp.

En cuanto a las especies del estrato herbáceo, que es el más importante en cuanto a número de taxones, hemos encontrado citadas las siguientes: *Koeleria vallesiana*, *Brachypodium* sp., *Achillea odorata*, *Petrorhagia prolifera*, *Crucianella angustifolia*, *Dianthus pungens*, *Avenula pratensis*, *Arenaria erinacea*, *Inula montana*, *Acinos rotundifolius*, *Medicago sativa* y algunas especies de *Bromus*, *Silene*, *Briza*, *Centaurea*, *Hieracium*, *Astragalus*, *Coronilla* y *Festuca* (AGUILELLA, 1992).

Dentro de la zona de estudio, los ejemplos mejores y más extensos de sabinar se encuentran en la vertiente este de la Loma de Camarillas (entorno de la masía de La Morta, junto a la carretera de Aliaga a Miravete) y en la Loma Balios. En el primero de ellos, la mayoría de los abundantes individuos de *Juniperus thurifera* alcanzan una altura de unos 4 m, y excepcionalmente se encuentra alguno de hasta 7 m. Les acompañan ejemplares de enebro común de hasta 2-2,5 m de altura, algunos escasos pies de quejigo, y un matorral ralo de aliaga, espliego y tomillo. Una parte de este sabinar se asienta sobre antiguos bancales de cultivo, abandonados hace unas cuatro o cinco décadas, lo que constituye una prueba elocuente de su capacidad regenerativa en condiciones climáticas y edáficas adecuadas. Las sabinas aisladas de mayores dimensiones serían los únicos vestigios del bosque centenario anterior a la roturación agrícola.

Piso oromediterráneo

El pinar de Pinus sylvestris

Los pinares son las formaciones boscosas que crecen a mayor altitud. En nuestra área de estudio, la única comunidad vegetal característica del piso oromediterráneo es el pinar de pino albar o silvestre (*Pinus sylvestris*). Con un carácter más eurosiberiano, este pino tiene gran resistencia a la continentalidad y requiere en general un ambiente fresco. Se caracteriza por su porte elevado, con ramificación sólo en la parte superior, y su corteza de color anaranjado. Sus acículas son más rígidas y cortas que las de *P. nigra*, y las piñas, pardo-rojizas.

El pino albar forma en su etapa madura un pinar abierto con un estrato arbustivo denso que puede cubrir todo el suelo. El mejor ejemplo en la zona de Aliaga es el que ocupa el altiplano de La Lastra, a altitudes a partir de 1.400 metros. Los ejemplares de *P. sylvestris* alcanzan alturas de hasta 8-10 m (fig. 5e). El sotobosque incluye, como especie característica del piso oromediterráneo, la sabina rastrera (*Juniperus sabina*), a la que acompañan gayuba, agracejo, la variedad enana del enebro común (*J. communis* ssp. *hemisphaerica*), espliego, gamón, tollaga o tollada (*Genista mugronensis* ssp. *rigidissima*) y erizo (*Erinacea anthyllis*). En algún lugar umbroso como el barranco de Fuen Blanquilla, y sobre sustrato calcáreo, aparece asimismo boj (*Buxus sepervirens*). También pueden verse herbáceas como *Sideritis hirsuta*, *Viola reichenbachiana* o algunas especies de *Potentilla* (*P. cinerea*, *P. neumiana*, *P. crantzii*). Otras especies citadas para esta comunidad son: *Rhamnus pumila*, *Viburnum lantana*, *Globularia repens*, *Lonicera etrusca* y *L. xylosteum* (escasa), *Rosa* sp., *Ononis aragonensis* y *Astragalus* sp. (<http://www.ipe.csci.es/floragon/index.php>; COSTA-TENORIO et al., 1987; MATEO SANZ, 1990).

Aunque su calidad como masas forestales es menor que en la Sierra de Albarracín, el pinar albar es objeto de una cuidadosa gestión forestal en todo el sector de Gúdar-Maestrazgo. Han sido de dudosa eficacia, no obstante, algunos intentos de repoblación precedida de tratamientos agresivos del terreno (eliminación completa de la vegetación natural, subsolado o arado en profundidad, explotación en fajas...), que han incrementado la sequedad del escaso suelo y dificultado el desarrollo de los plantones (QUEROL, 1995).

FORMACIONES DE DEGRADACIÓN O VEGETACIÓN SERIAL

Introducción

La vegetación no es un elemento estable, y por tanto las asociaciones se modifican a lo largo del tiempo, dando paso al establecimiento de otras nuevas en un mismo lugar. El tiempo permite que una comunidad vegetal madure a la par que lo hace el suelo sobre el que su propia material vegetal se descompone. Así, la tendencia de la vegetación en cualquier terreno es a aumentar la biomasa con el tiempo, y a cambiar las especies oportunistas, de ciclo de vida corto y poco gasto en biomasa, por especies más estables. De otro lado, una perturbación sobre el territorio determina la regresión de la comunidad a un estado anterior en esta sucesión ecológica, con especies más tolerantes a las peores condiciones edáficas. Así, se cambia una asociación más madura, con más biomasa y diversidad, por otra más pobre, una "formación de degradación". El conjunto de asociaciones (bosques, arbustos, matorrales, pastizales...) que viven en un territorio y en un determinado ambiente, y que tienden en su dinámica temporal hacia la misma comunidad clímax, forman una serie de vegetación.

Las comunidades que hemos descrito más arriba son las que pueden considerarse comunidades clímax en Aliaga, pero en nuestra zona de estudio la extensión de las mismas alcanza sólo en torno a un 25% de su superficie. La intervención humana en el territorio desde muchos siglos atrás ha sido responsable de la pérdida de las comunidades más maduras en todo aquel terreno accesible para la instalación de cultivos; la presión llegó a ser especialmente intensa hacia finales del siglo

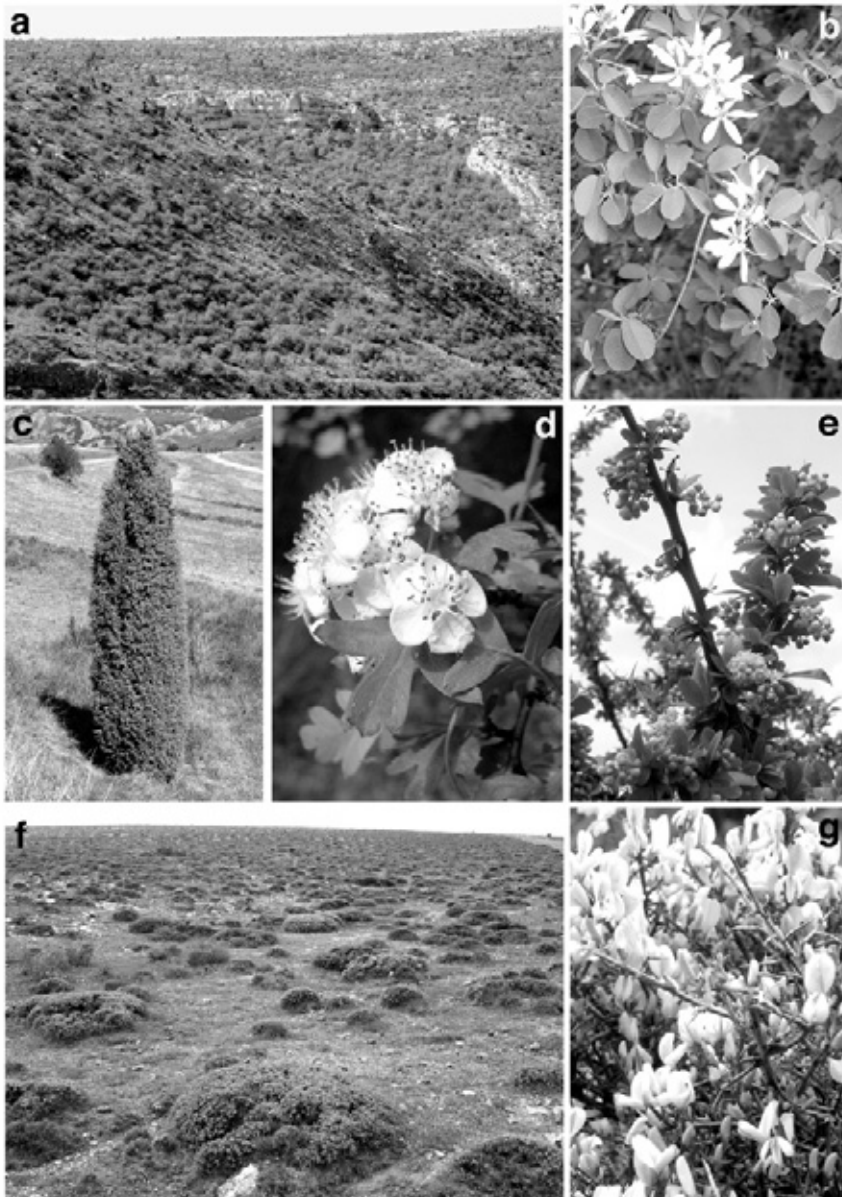


Fig. 6. Arbustos y matorral serial. (a) Guillomar, *Amelanchier ovalis*; ladera sur del embalse de La Aldehuela. (b) Detalle de hojas y flores del guillomo. (c) Enebro común, *Juniperus communis*; noroeste de Cobatillas. (d) Majuelo, *Crataegus monogyna*. (e) Agracejo, *Berberis vulgaris*. (f) Matorral almohadado de *Erinacea anthyllis*; lomas entre Hinojosa de Jarque y Galve. (g) Aliaga, *Genista scorpius*.

XIX, en que los abancalamientos se extendieron hasta lugares casi impracticables. El pastoreo, la tala para la obtención de madera y los incendios han sido otras de las causas de esta pérdida.

Casi todas las áreas perturbadas sustentan ahora comunidades vegetales en un estado anterior en la línea de sucesión a sus clímax, comunidades arbustivas, matorrales o herbáceas que, a modo de mosaico, cubren un gran porcentaje del territorio. El conocimiento de la dinámica vegetal nos permite, a partir de estas etapas más degradadas y de los factores ecológicos que imperan en cada zona, predecir las comunidades de la sucesión y su vegetación potencial, es decir, la serie de vegetación.

Formaciones de degradación en el piso supramediterráneo

Cada una de las comunidades supramediterráneas explicadas arriba (carrascal, quejigar, pinar de *P. nigra* y sabinar) son las cabezas de serie de sus respectivas series de vegetación, propias de su región biogeográfica. Cada serie posee teóricamente sus propias comunidades arbustivas y de matorral, con especies características también del sotobosque de la etapa madura. Estas comunidades, no obstante, van empobreciéndose en especies hacia los estados más degradados, lo que implica una pérdida de originalidad o distinción entre las etapas pioneras. Así pues, en la práctica, el matorral que impera en el territorio aliaguino es sustancialmente similar ya fuera su cabeza de serie en origen el carrascal o el sabinar, por poner un ejemplo.

La serie de vegetación del quejigar, *Viola willkommii-Querceto fagineae* S., es la más característica de la zona de estudio, según las cartografías comúnmente aceptadas (QUEROL, 1995, cartografía modificada de RIVAS-MARTÍNEZ, 1986). Se da en las zonas más umbrías y resguardadas, donde la sucesión es más factible (recordemos el ejemplo de los quejigos en el pinar de repoblación) y encontramos una formación de degradación con un carácter propio. En estas áreas aparece un matorral de carácter menos xérico y un porte claramente distinto del que predomina en la zona. La especie clave es el guillomo, especie con óptimo en canchales y suelos pedregosos y esqueléticos, que constituye grandes masas casi monoespecíficas en muchas áreas del Parque Geológico (fig. 6a,b), al igual que lo hace en otras zonas del interior peninsular (Sector Celtibérico-Alcarreño). Encontramos buenos ejemplos en las laderas umbrías del embalse de Aldehuela y de la Hoz Mala, la subida al puerto de Camarillas o el oeste de Campos. Su porte de altura media y su floración densa blanca en primavera lo distinguen del resto de formaciones arbustivas de la zona, que tienen por lo general un carácter más xérico y un porte menor.

El guillomo se puede acompañar de majuelo (fig. 6d), mentironera, rosal silvestre (galabardera; *Rosa canina*), aligustre, *Clematis vitalba* o madreselvas. También encontramos otras especies del sotobosque del quejigar como enebro común, gayuba, endrino y agracejo (fig. 6e). Entre las herbáceas encontramos *Epipactis helleborine*, *Aster aragonensis* y algunas especies de *Galium*, *Carex*, *Cephalanthera*... También *Pinus nigra* aparece disperso como un elemento natural.

En las etapas más degradadas de esta serie quedan comunidades empobrecidas de *Lino-Salvietum* y fenalares del *Phlomidio-Brachypodietum phoenicoides*. Encontramos en esos casos aliaga, enebro (fig. 6c) y labiadas como la salvia y el espliego (frecuentemente parasitadas por *Orobanch* sp.), un matorral que converge con las etapas de degradación de las otras asociaciones vegetales.

En la serie de vegetación del carrascal, *Junipero thuriferae-Querceto rotundifoliae* S., algunas etapas de degradación pueden verse dominadas por la carrasca casi en solitario, pero en los estadios intermedios, los más comunes, aparecen especies de matorral como guillomo, aliaga (fig. 6g), tomillo, salvia, ajedrea, espliego, *Rhamnus* y *Phyllirea*.

Cuando las condiciones se endurecen y la serie de vegetación es la del sabinar (*Junipereto hemisphaerico-thuriferae* S.), las especies algo exigentes en cuanto a recursos hídricos y suelo no tienen cabida. Las etapas de degradación se limitan entonces a un matorral de genistas, tomillares, espliego y gramíneas. Estas formaciones de bajo porte son abundantes en Aliaga, ocupando gran cantidad de parameras a ambos lados del valle del río de la Val. En su margen izquierda, donde afloran niveles yesíferos del tránsito Paleógeno-Neógeno, incorporan especies típicas gipsícolas como el asnallo o arnacho (*Ononis tridentata*).

Incluimos a continuación una relación amplia de especies que hemos reconocido en distintos enclaves dominados por estas comunidades de degradación (puerto de Camarillas, carretera de Aliaga a Campos, barrancos contiguos a la ermita de la Virgen de la Zarza, laderas de solana del embalse de Aldehuela y entorno del río de la Val a la altura de Cobatillas): enebro común, sabina negra, agracejo, guillomo, *Rosa canina*, *R. pinpinellifolia*, erizo, ajedrea, tomillo común, aliaga, gamón, salvia, gayuba, espliego (*Lavandula angustifolia* ssp. *pyrenaica*), té de roca (*Jasonia glutinosa*), *Leuzea conifera*, *Galium verum*, *Aster aragonensis*, *A. squamatum*, *Lamium purpureum*, *Euphorbia minuta*, *Scolimus hispanicus*, *Verbascum thapsus*, *Linum narbonense*, *L. sufruticossum*, *Centaurea* sp., *C. salmantica*, *Sedum sediforme*, *Phlomis purpurea*, *Eryngium campestris*, *Microlondeus salmantius*, *Lithodora fruticosa*, *Helianthemum croceum* y *Satureja cuneifolia*, así como gramíneas de los géneros *Avenula* y *Brachypodium*, entre otros.

A la relación anterior cabe añadir otras especies que se citan en la bibliografía consultada (COSTA-TENORIO *et al.*, 1987; MATEO SANZ, 1990: <http://www.ipe.scis.es/floragon/index.php>): *Acinos alpinus*, *Teucrium polium*, *Helianthemum cinereum*, *Stachelina dubia*, *Digitalis obscura*, *Dactylis glomerata*, *Melica ciliata*, *Thymus zygis*, *T. bracteatus*, *T. leptophyllus*, *Teucrium polium*, *T. chamaedris*, *Sideritis* sp., *Onobrychis viciifolia* o *Leucanthemum vulgare*.

Formaciones de degradación en el piso oromediterráneo

En el piso oromediterráneo la única comunidad de porte arbóreo es el pinar de *P. sylvestris*; es la cabeza de la serie *Sabino-Pineto sylvestris* S. A la altitud a la que esta comunidad aparece, la exigüidad del suelo dificulta sobremanera el desarrollo de vegetación de porte arbóreo o arbustivo debido a las duras condiciones climáticas. Por ello, la pérdida de la vegetación más desarrollada es difícilmente subsanada, y la mayor parte del territorio en estas circunstancias queda por mucho tiempo, si no de manera irreversible, cubierta por formaciones de matorral bajo de porte almohadillado. Este tipo de matorral está bien adaptado a las condiciones que caracterizan las lomas y altiplanos de la zona, fríos y desprotegidos del viento. Contiene únicamente las especies más rústicas de entre las que acompañan al pino antes de que se pierda: erizo (*Erinacea anthyllis*, la más característica; fig. 6f), tollaga, espliego y tomillo; en menor medida, sabina rastrera y la variedad achaparrada del enebro común (*J. communis* ssp. *hemisphaerica*).

VEGETACIÓN DE RIBERA Y ENCLAVES SINGULARES

Vegetación de ribera

Los ríos y barrancos que llevan agua de forma permanente o casi permanente constituyen un biotopo propio, que se diferencia del ambiente dominante en Aliaga. En sus orillas se desarrolla la llamada vegetación riparia o de ribera, el tipo más relevante de *vegetación azonal* en nuestra área de estudio. La humedad permanente del suelo compensa la aridez del medio y permite el establecimiento de comunidades de hoja caduca que nada tienen que ver con la vegetación que domina más allá de su influencia.

Las especies arbóreas características de este ambiente son el chopo (*Populus nigra*; fig. 7a), álamo blanco (*Populus alba*), olmo (*Ulmus minor*), fresno (*Fraxinus angustifolia*), sauce (*Salix alba*), mimbrera (*Salix fragilis*) y sargas (*Salix eleagnos* ssp. *angustifolia* y *S. atrocinerea*).

A modo de ejemplo, en el Guadalupe al pie de la Muela del Galabardal, flanqueados estrechamente por el pinar de *Pinus nigra*, pueden verse representantes de todos los taxa característicos; los chopos, álamos blancos, olmos y fresnos se acompañan de sauces y sargas. Les acompañan herbáceas como *Aster sedifolius* o *Phyteuma orbiculare*. Descendiendo por el río hasta Boca Infierno, se añaden abundantes zarzamoras (*Rubus ulmifolius*), algunos endrinos (*Prunus spinosa*), cornejos (*Cornus sanguinea*) y aligustres (*Ligustrum vulgare*). Entre las especies herbáceas acompañantes la más abundante es la menta piperita (*Mentha longifolia*); también puede verse *Salvia lavandulifolia*, *Sedum sediforme*, *Eupatorium cannabinum* ssp. *cannabinum*, ajenjo (*Artemisia absinthium*), hierba pordiosera (*Clematis vitalba*), vivorera (*Echium vulgare*), hiedra, madreselva, *Phyteuma orbiculare*, *Eupatorium cannabinum*, *Origanum vulgare* y *Lysimachia ephemerum*. También hemos observado una especie bastante interesante por su escasez en Teruel: *Pinguicula vulgaris*, especie carnívora que acompaña al culantrillo (*Adiantum capillus-veneris*) en paredes por las que discurre el agua.

La ribera del río de la Val entre Cobatillas y Aliaga es otro buen ejemplo de este tipo de vegetación, con *Populus nigra* como especie dominante. Su morfología característica de chopo "cabecero" (fig. 7a) revela el aprovechamiento forestal típico de los valles altos de Teruel: la escamonda. Los arbolillos, cuando alcanzan un grosor de tronco de unos 8-10 cm, son despuntados: a una altura de unos 3 m del suelo, se les corta la rama principal para favorecer el desarrollo de cuatro o cinco ramas laterales. Éstas crecerán durante 15 ó 20 años hasta dar vigas de unos 10 m de longitud y 15-20 cm de diámetro, empleadas tradicionalmente en la construcción. La corta periódica de dichas vigas mantiene la vitalidad del pie del chopo y hace que su vida se alargue, confiriendo asimismo a las riberas un atributo de paisaje cultural (DE JAIME y HERRERO, 2007).

Las choperas suelen presentar un estrato herbáceo compuesto por las especies citadas anteriormente, y una gran variedad de especies conspicuas como *Aphyllantes mospeliensis* (pasto muy valorado que se presenta en zonas de degradación del carrascal), *Serratula nudicaulis*, *Ranunculus* sp., *Epilobium hirsutum*, *Consolida ajacis* o *Viola odorata*. Existen también, en el borde o ya dentro al agua, gran cantidad de equisetos (cola de caballo; *Equisetum arvense*), apreciados por sus propieda-



Fig. 7. Vegetación de ribera y enclaves singulares. (a) Chopos cabeceros, *Populus nigra*; río de la Val oeste de Cobatillas. (b) Avellano, *Corylus avellana*; ladera norte de La Cantera, Cobatillas. (c) Tilo, *Tilia platyphyllos* ssp. *platyphyllos*; Collado Alto. (d) Arce, *Acer opalus* ssp. *granatense*; Collado Alto. (e) Acebo, *Ilex aquifolium*; estrecho de Valloré. (f) Tejo, *Taxus baccata*; estrecho de Valloré.

des diuréticas. En lugares cercanos al cauce, indicando la presencia de una capa freática cercana a la superficie, tenemos los juncos (*Juncus holoschoenus*), que desaparecen a medida que nos acercamos al cauce para ser sustituidos por los grandes helófitos carrizos (*Phragmites australis*) y eneas o aneas (*Typha angustifolia*). Este tipo de vegetación es muy importante para la conservación de la avifauna, puesto que es el lugar de cría, refugio y alimentación de muchas especies.

Vegetación excepcional del valle del Guadalope entre La Tosca y Valloré

Entre la masada de La Tosca y el estrecho de Valloré, donde el Guadalope sale de nuestra área de estudio, encontramos las mínimas cotas altitudinales de toda la zona (entre los 900 y 1.000 metros). La Tosca se asienta en una vaguada rodeada de montañas, muy resguardada y con un microclima especial más cálido que aparece como un reducto mínimo de piso mesomediterráneo. Esas mismas condiciones se dan en el congosto de Boca Infierno y en la vaguada que se abre tras él (masada de la Puente), y se acentuarán pasado el estrecho de Valloré al llegar a Montoro de Mezquita. Esto hace que todo este tramo de valle, además de contar con la vegetación de ribera que hemos descrito en el apartado anterior, tenga otras peculiaridades.

El piso mesomediterráneo aparece en nuestra zona hasta los 900 ó 1.000 metros de altitud, y se caracteriza por una temperatura media anual de menos de 16 °C, con una media de 9 °C en el mes más frío (AGUILELLA y MATEO, 1985). Como muestra de ello, encontramos en este lugar individuos de especies típicas de los ambientes mediterráneos más térmicos, entre las que destaca el almez o latonero (*Celtis australis*). La aparición de ejemplares sueltos de esta especie puede ser producto bien de la dispersión de sus semillas por algún animal, bien de cultivo. De hecho, suelen localizarse en las márgenes de los bancales de la masada de la Puente, a cuya estabilidad contribuyen. Plantado antaño para su aprovechamiento maderero, se ha naturalizado en muchas zonas formando parte de bosques ribereños, contribuyendo a aumentar la originalidad y biodiversidad de estos ambientes riparios. En la zona de ribera encontramos rosas silvestre, alguna higuera aislada (*Ficus carica*) y un rico estrato herbáceo de gramíneas y otras especies, como *Plantago major*. En las laderas de los márgenes aparecen romero (*Rosmarinus officinalis*), especie prácticamente ausente en el matorral xerófilo del resto de la zona de estudio, y cornicabra (*Pistacia terebinthus*).

Este pequeño enclave mesomediterráneo se ve cercado por los pinares de *Pinus nigra* que descienden de las montañas hasta el valle, y convive, como hemos apuntado, con la vegetación de ribera. Esta combinación se mantiene con normalidad hasta que el río comienza a atravesar los estrechos de Boca Infierno y Valloré. Aquí, el encajonamiento del río entre paredes calizas casi verticales crea entornos umbríos donde crecen arces (*Acer campestre* y *Acer opalus* ssp. *granatense*; fig. 7d), serbal (*Sorbus domestica*), avellano (*Corylus avellana*; fig. 7b) y, en el curso fluvial frente a la masada de La Puente, *Iris pseudacorus*. Tales condiciones se extreman en Valloré, un enclave particularmente umbrío y húmedo en el que aparecen nuevas y singulares especies presentes sólo aquí: el acebo (*Ilex aquifolium*; fig. 7e) y el tejo (*Taxus baccata*; fig. 7f). Ambas especies representan dos casos especiales de comunidades relictas por su escasez y sus estrictos requerimientos bioclimáti-

cos, puesto que tienen sus ambientes óptimos en la región eurosiberiana. El acebo, silicícola facultativo y ombrófilo, se distribuye por gran parte de Europa, y la Península Ibérica es el límite meridional de su rango geográfico. Es fácil de distinguir por sus hojas coriáceas, oscuras y lustrosas.

El tilar del Collado Alto

Un reducto singular en la zona es sin duda el que se encuentra en la ladera umbría del Collado Alto, en el extremo norte del altiplano de La Lastra. Allí encontramos un bosque de vegetación atlántica muy diverso en el que, como elemento singular, destacan los tilos (*Tilia platyphyllos* ssp. *platyphyllos*; fig. 7c), con alturas de hasta 7 m. Junto a ellos encontramos arces: *Acer opalus* ssp. *granatense* (fig. 7d) y *Acer campestre*, que alcanza la máxima altura del bosque (unos 9 m); también aparecen avellano, serbal, gayuba, enebro común, guillomo, agracejo, majuelo, cornejo, mostajo, y un estrato herbáceo con especies como *Helleborus foetidus*, *Hepatica nobilis*, *Cichorium intybus*, *Stellaria holostea*, *Vicia onobrychioides*, *Ononis aragonensis*, *Plantago major*, *Leucanthemum pal-matum*, *Teucrium chamaedris* o *Tanacetum corymbosum*.

Este emplazamiento es un ejemplo magnífico del efecto de la orientación de las laderas sobre la vegetación. Enfrente de este bosque ombrófilo, diverso y singular, encontramos una solana con grandes sabinas albares (*J. thurifera*) dispersas, junto a pies de carrasca y enebro (fig. 9a,b). Todos ellos sobresalen del matorral xerófilo que domina el paisaje aliaguino y que aquí está representado por aliaga, tomillo, rosal silvestre, salvia, *Santolina rosmarinifolia*, *Phlomis lychnitis* y otras.

El avellanar de la Cantera de Cobatillas

En la vertiente norte de la Cantera, aproximadamente 1,5 km al sur de Cobatillas, se localiza un pequeño reducto de avellanos (*Corylus avellana*; fig. 7b). Son sólo un par de pequeñas manchas al pie de la cresta calcárea, rodeadas de un guillomar denso que domina la parte alta de esta vertiente umbría, pero que apenas se entremezcla con el avellanar. Le acompaña un sotobosque de gayuba y herbáceas. Este bosque representa otro de los escasos relictos de vegetación eurosiberiana que podemos encontrar en la zona, en condiciones excepcionalmente húmedas determinadas por la altitud y la protección a la radiación solar.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA VEGETACIÓN: RELACIÓN CON FACTORES GEOLÓGICOS Y TOPOGRÁFICOS

La distribución espacial de las formaciones vegetales descritas para el territorio de Aliaga queda reflejada en el mapa de vegetación de la figura 8, e ilustrada así mismo en los perfiles N-S y E-W de la figura 9. A grandes rasgos, la densidad de la cubierta vegetal disminuye de este a oeste: las masas boscosas de mayor entidad (pinas y carrascales) se concentran en la mitad oriental; las formaciones arbustivas predominan en la zona central, y las superficies de matorral y cultivos ocupan la mayor parte del sector occidental, de topografía menos accidentada y con mayor presión antró-

pica. Las otras comunidades climácicas (quejigar y sabinar) forman sólo manchas reducidas (preferentemente en el centro y sur de la zona), mientras la vegetación riparia coloniza de forma generalizada los cursos fluviales.

En principio, cabe pensar que dicha distribución esté controlada por factores tanto físicos (sustrato geológico, altitud, pendiente topográfica, disponibilidad de agua...) como antrópicos (deforestación histórica, usos agrícolas...) (fig. 10). A efectos biogeográficos, el cambio en altitud tiene, por su influjo sobre la temperatura media y el grado de evapotranspiración, efectos parecidos al cambio en latitud. También encontramos variaciones en la vegetación entre las laderas de solana y de umbría, debido al diferente grado de insolación que reciben ambas (fig. 11a,b). El tipo de sustrato es un factor que condiciona en gran medida la vegetación, a través de los suelos que se desarrollan sobre cada tipo litológico. Hay muchas plantas indiferentes a las variaciones edáficas, mientras que otras tienen marcadas preferencias.

Para tratar de valorar la influencia que las distintas variables ejercen en el reparto de la vegetación, hemos realizado, siguiendo el procedimiento descrito en el apartado metodológico, un análisis sistemático de la correlación espacial entre las formaciones vegetales climácicas cartografiadas (junto a algunas formaciones seriales más significativas) y los principales factores físicos. Este análisis será completado luego con consideraciones sobre el impacto de las actividades humanas, que permitan explicar cómo la evolución de los usos del suelo ha determinado que extensas áreas muestren estadios más o menos avanzados de degradación de la vegetación, mientras en otras han quedado reductos de vegetación climácica.

Se han considerado para el análisis los siguientes factores:

(a) *Sustrato geológico*. Se han distinguido los grandes conjuntos estratigráficos habitualmente utilizados en cartografía geológica: Jurásico, Cretácico basal continental (facies Weald), Cretácico inferior marino (facies Urgon), Cretácico inferior alto transicional-continental (Formaciones Escucha y Utrillas), Cretácico superior, Paleógeno y Neógeno. La mayor parte de estos sustratos son carbonatados (calizas, margas y dolomías), y dan suelos calcimorfos de escaso desarrollo (litosoles y regosoles). La litología calcárea es predominante en las formaciones de origen marino (Jurásico, Urgon, Cretácico superior); caracteriza también algunas formaciones continentales (calizas lacustres dentro de la facies Weald o del Neógeno); finalmente, está presente de forma dominante en los cantos de los conglomerados del Terciario. Además de alcalinos, los sustratos calcáreos suelen ser muy permeables (el agua se infiltra con facilidad por las múltiples fisuras que contienen), lo que disminuye su disponibilidad hídrica y conlleva falta de regulación térmica y mayor calentamiento del suelo. Más blando, menos permeable y algo más silíceo es el sustrato que proporcionan las unidades arenarcillosas del Cretácico inferior (Weald, Fms. Escucha-Utrillas) y del Neógeno, en el que predominan suelos de tipo cambisol cálcico.

(b) *Altitud*. El territorio estudiado se sitúa entre una altitud mínima de 880 m s.n.m. (río Guadalope en el estrecho de Valloré) y una máxima de 1.548 (alto de San Cristóbal, al norte de La Lasra). La mayor parte de las cumbres y altiplanos (restos de la antigua superficie de erosión de finales del Terciario), se sitúan a una altura muy constante en torno a 1.400 m, de manera que la

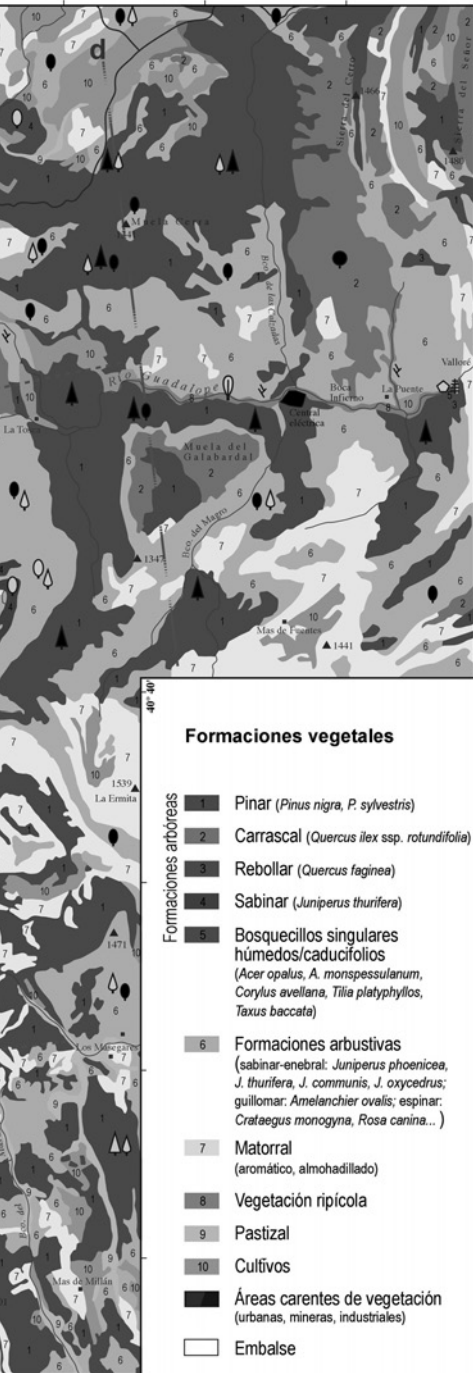
amplitud topográfica entre ellos y el fondo de los valles ronda habitualmente los 250-300 m. Es en la parte final del valle del Guadalope donde el fuerte encajamiento de éste produce las máximas diferencias de altitud: hasta 450 m en la Muela del Galabardal y Boca Infierno. Para el análisis se han considerado intervalos de altitud de 50 m.

(c) *Orientación de las laderas.* La compleja estructura geológica del terreno determina una gran diversidad en las orientaciones de las vertientes. Dado que una buena parte del modelado del relieve es de tipo estructural, las crestas y lomas se orientan según las direcciones de los pliegues. Así, en el tercio meridional (anticlinal de Miravete, sinclinales de Camarillas y La Lastra), al norte de Aliaga (anticlinal de Campos-Aliaga) y en el extremo oriental (pliegues de Boca Infierno-Valloré) predominan los relieves orientados N-S y, por tanto, las laderas orientadas netamente al este y al oeste. En la banda central dominan las estructuras E-W y, por tanto, encontramos más laderas orientadas preferentemente al norte o al sur. Además de estas cuatro categorías de orientación, se ha considerado una quinta para las cuadrículas con orientación indefinida (próximas a la horizontal o de orientación múltiple).

(d) *Pendiente del terreno.* Las pendientes topográficas son extremadamente variadas, desde zonas absolutamente llanas hasta escarpes verticales. Las primeras corresponden a lomas y altiplanos heredados de la antigua superficie de erosión terciaria (Camarillas, La Lastra) y a algunos fondos amplios de valle excavados en materiales blandos (La Val). Las grandes laderas escarpadas se dan en la parte final del valle del Guadalope, propiciadas por el fuerte encajamiento en las masas de conglomerados terciarios (cara norte de la Muela del Galabardal), así como por la existencia de un relieve en crestas muy pronunciado en flancos verticales de pliegues que afectan a las duras calizas y dolomías del Cretácico superior. Se han considerado cuatro categorías de pendiente, con los siguientes rangos aproximados: muy baja (<4%), baja (entre 4% y 20%), media (entre 20% y 50%) y alta (>50%).

La correlación espacial entre el mapa de vegetación y los cuatro factores mencionados, analizada por el procedimiento descrito en el apartado de metodología, puede valorarse e interpretarse a partir de los resultados compendiados en la tabla 1 (recuento directo de cuadrículas en las que coinciden una determinada formación vegetal y una determinada categoría asignada a cada una de las variables) y de los gráficos de la figura 12 (valores normalizados en porcentaje para facilitar la comparación). Las correlaciones más significativas aparecen sintetizadas en la tabla 2 y son discutidas a continuación.

La mayoría de los bosques climácicos (pinares albar y negral, carrascal), así como las formaciones arbustivas incluidas en el análisis (sabinar negral, enebral, guillomar) se asientan sobre sustratos preferentemente calcáreos: calizas y dolomías jurásicas y cretácicas (especialmente del Cretácico superior) y conglomerados calcáreos del Paleógeno (fig. 12a). Manifiestan, de este modo, su carácter netamente calcófilo (COSTA-TENORIO *et al.*, 1987). El quejigar y el sabinar albar son mucho más plásticos en su adaptación al tipo de sustrato rocoso (COSTA-TENORIO *et al.*, 1987); su frecuencia es similar en terrenos carbonatados y en los relativamente silíceos del Cretácico inferior (arcillas y arenas del Weald y de las Fms. Escucha y Utrillas). De hecho, los suelos más frescos y profundos que precisa el quejigo se encuentran con más facilidad en sustratos areno-arcillosos del Cretácico inferior. Dentro del Terciario, los quejigares prefieren precisamente los conglomerados del Neógeno, cuyos cantos tienen una naturaleza litológica más variada que los del Paleógeno.



Mapa de vegetación del Parque Geológico de Aliaga



Formaciones vegetales

- 1 Pinar (*Pinus nigra*, *P. sylvestris*)
- 2 Carrascal (*Quercus ilex* ssp. *rotundifolia*)
- 3 Rebollar (*Quercus faginea*)
- 4 Sabinar (*Juniperus thurifera*)
- 5 Bosquecillos singulares húmedos/caducifolios (*Acer opalus*, *A. monspessulanum*, *Corylus avellana*, *Tilia platyphyllos*, *Taxus baccata*)
- 6 Formaciones arbustivas (sabinar-enebral: *Juniperus phoenicea*, *J. thurifera*, *J. communis*, *J. oxycedrus*; guillomo: *Amelanchier ovalis*; espinar: *Crataegus monogyna*, *Rosa canina*...)
- 7 Matorral (aromático, almohadillado)
- 8 Vegetación ripícola
- 9 Pastizal
- 10 Cultivos
- Áreas carentes de vegetación (urbanas, mineras, industriales)
- Embalse

Especies dominantes o más representativas

- ▲ Pino negro o laricio (*Pinus nigra*)
- △ Pino silvestre o albar (*Pinus sylvestris*)
- Carrasca (*Quercus ilex* ssp. *rotundifolia*)
- Quejigo o rebollo (*Quercus faginea*)
- Sabina albar (*Juniperus thurifera*)
- Sabina negra (*Juniperus phoenicea*)
- ♠ Enebras (*Juniperus communis*, *J. oxycedrus*)
- ▲ Sabina rastrea (*Juniperus sabina*)
- ⊕ Guillomo (*Amelanchier ovalis*)
- ✂ Espino albar, majuelo o vizcodero (*Crataegus monogyna*), rosal silvestre o escaramujo (*Rosa canina*), agracejo (*Berberis vulgaris*), endrino (*Prunus spinosa*)...
- ◇ Arces (*Acer opalus*, *A. monspessulanum*)
- Avellano (*Corylus avellana*)
- △ Tilo (*Tilia platyphyllos*)
- ♣ Tejo (*Taxus baccata*)
- Chopo (*Populus nigra*)

Fig. 8. Mapa de vegetación. Se indican, mediante manchas de distinto tono, las comunidades predominantes en cada área y, mediante símbolos, las especies más significativas. Líneas discontinuas a, b, c, d: situación de los perfiles de vegetación representados en la figura 9.

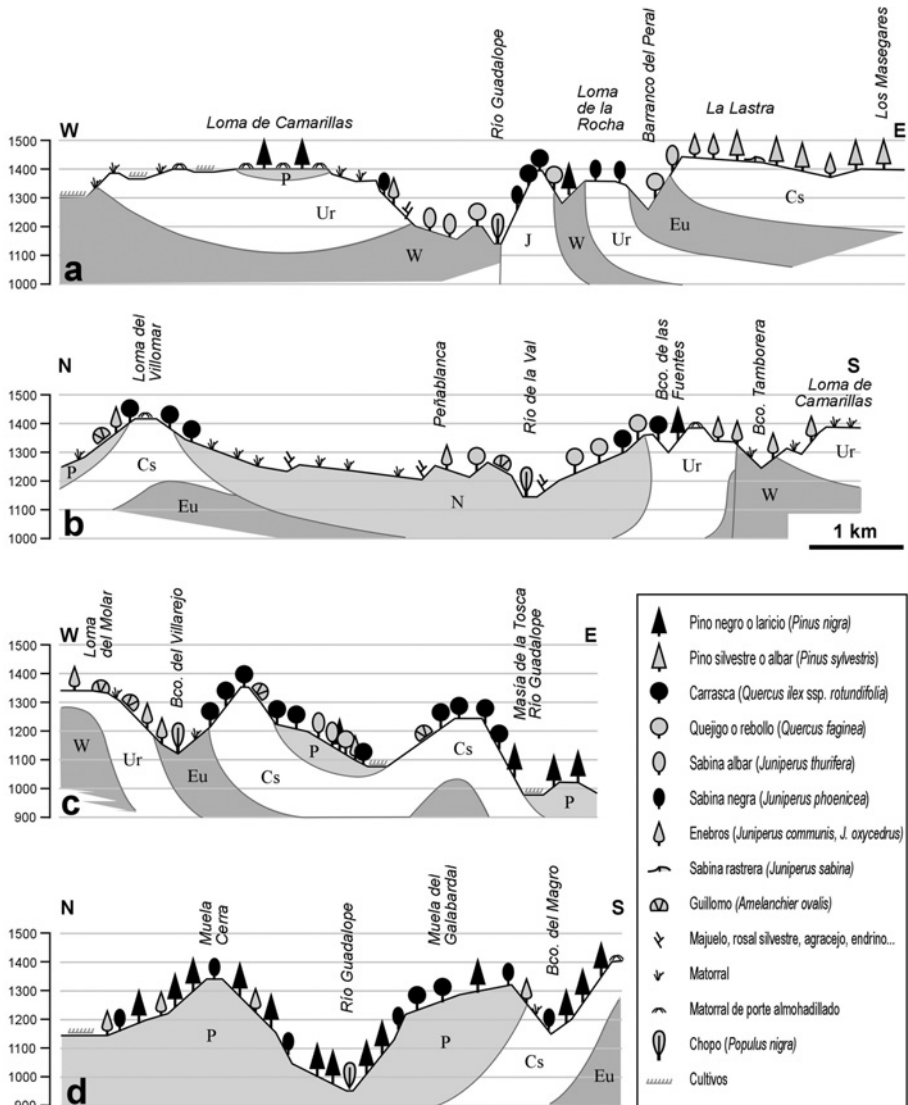


Fig. 9. Perfiles de vegetación en cuatro transectos, dos transversales a relieves N-S (a, c) y dos a relieves E-W (b, d). J: Jurásico; W: facies Weald; Ur: facies Urgon; Eu: Fms. Escucha y Utrillas; Cs: Cretácico superior; P: Paleógeno; N: Neógeno. Ver situación en mapa de la figura 8.

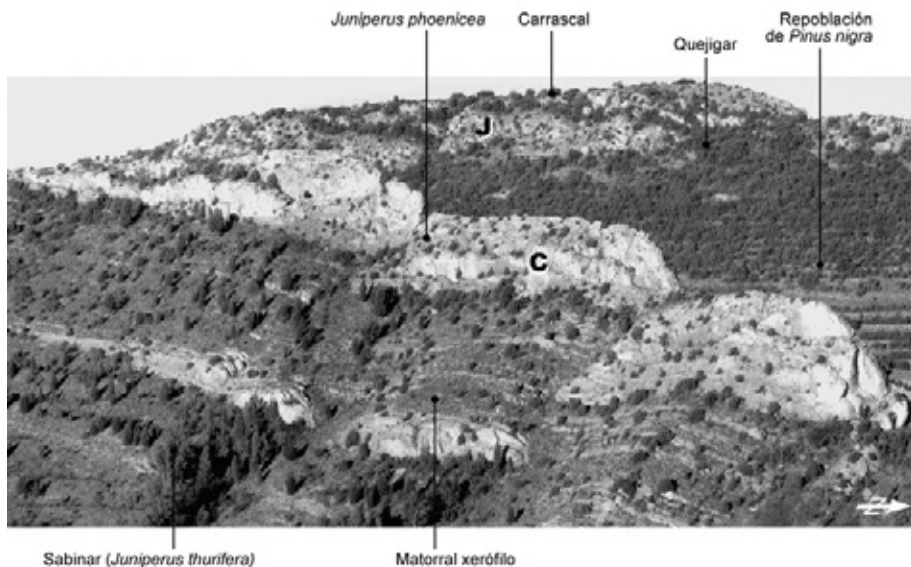


Fig. 10. Panorámica de las formaciones vegetales en el entorno del barranco del Hocino, delimitado por las crestas que forman las calizas jurásicas, al oeste (J), y las calizas del Cretácico inferior, al este (C). La repoblación en terrazas de *Pinus nigra* está parcialmente colonizada por quejigo.

Aunque coinciden en sus preferencias por los suelos alcalinos propios de sustratos calcáreos, los dos tipos de pinares presentes en Aliaga quedan claramente discriminados por la altitud, como cabe esperar de su vinculación respectiva a los pisos supramediterráneo y oromediterráneo. Así, el *Pinus nigra* se extiende en un variado rango de altitudes, pero sin rebasar apenas los 1.400 m, mientras el *P. sylvestris* aparece prácticamente sólo por encima de los 1.350 m (fig. 12b). También existe, por parte del *P. nigra*, una mayor tolerancia a las pendientes elevadas (figs. 5f, 12d).

Los dos bosques de *Quercus*, *Q. faginea* y *Q. ilex rotundifolia*, coinciden en altitudes medias-altas (1.150-1.400 m), pero se diferencian claramente, según hemos apuntado, por su afinidad o indiferencia hacia los sustratos calcáreos. También se discriminan por la orientación preferente de las vertientes que ocupan (fig. 12c): umbrías, el quejigo o rebollo (fig. 5d), y solanas, la carrasca (fig. 5a). Este hecho se debe a la mayor exigencia de humedad y suelo que tiene el quejigo, frente a la mayor frugalidad y heliofilia de la carrasca (COSTA-TENORIO *et al.*, 1987; QUEROL, 1995). Del guillomar, formación típica de degradación del quejigar, debería esperarse que compartiera con éste sus preferencias litológicas y topográficas. No obstante, esto sólo ocurre en parte, debido probablemente al sesgo que ha producido el impacto humano. Quejigar y guillomar comparten su preferencia por laderas umbrías de pendiente media-alta (figs. 5d, 6a, 12c,d), pero el guillomar se restringe a la parte superior del rango de altitudes del quejigar (1.250-1.350 m), y es prácticamente exclusivo de

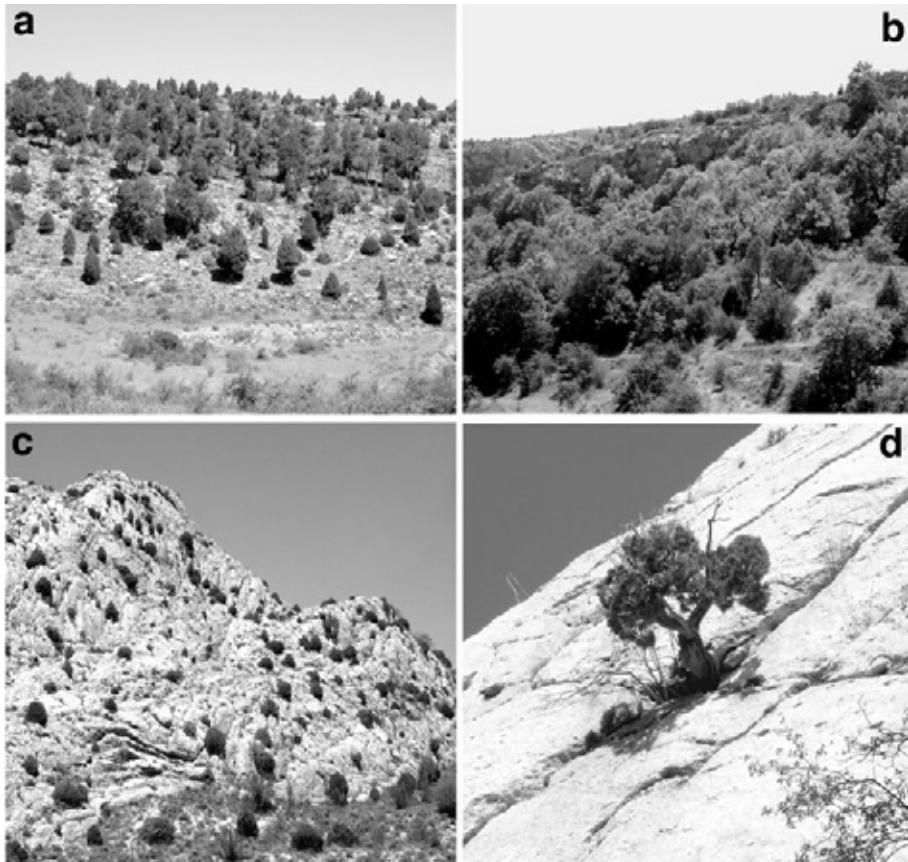


Fig. 11. Factores topográficos y geológicos en la distribución de la vegetación. (a) y (b) contraste entre la solana y la umbría del Collado Alto, al este de Aliaga; (a) ladera de solana: sabina albar y enebro; (b) ladera de umbría: bosque de vegetación atlántica con tilo, avellano, arces y serbales. (c) Pared calcárea del Cretácico superior en el estrecho de La Aldehuela, sólo colonizada por ejemplares dispersos de sabina negra. (d) Detalle del crecimiento limitado de la sabina negra en las grietas de los escarpes calcáreos.

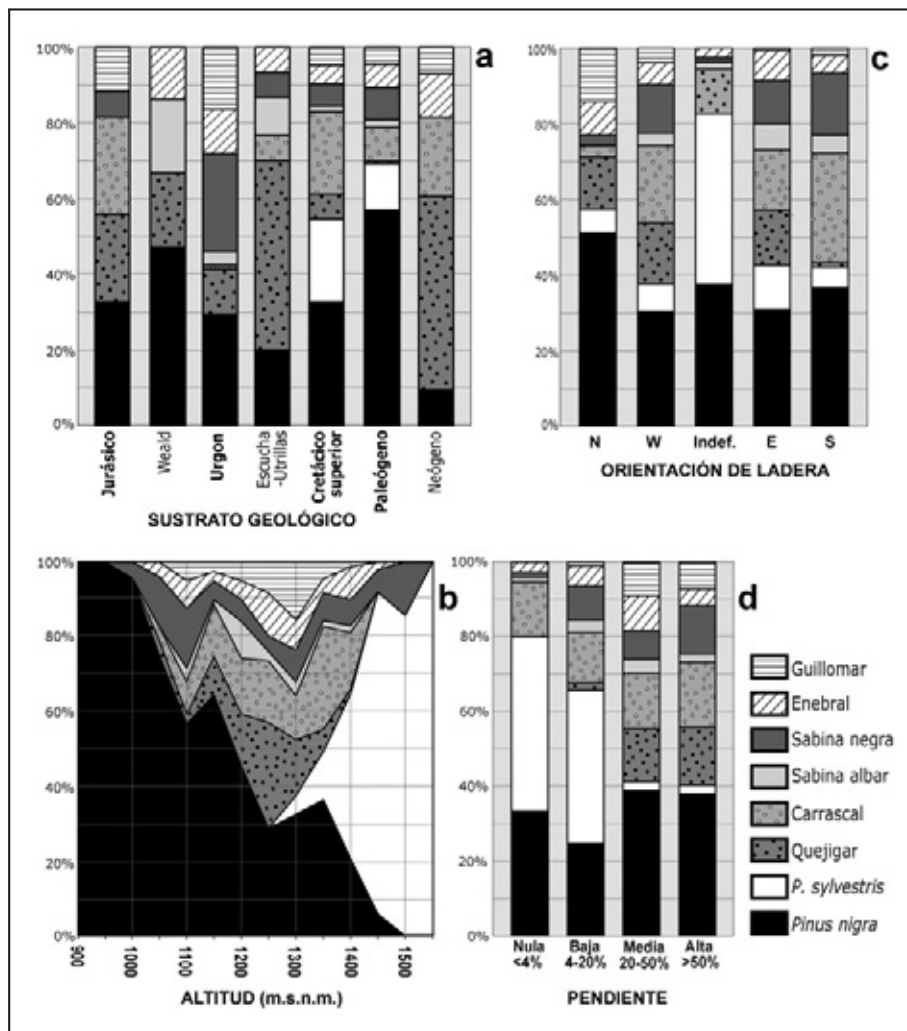


Fig. 12. Gráficos de correlación entre la distribución de formaciones vegetales y las categorías asignadas a cada una de las variables geológicas y topográficas analizadas (frecuencias relativas en términos de porcentaje). (a) Tipo de sustrato geológico; en negra: unidades calcáreas. (b) Altitud. (c) Orientación de la ladera. (d) Pendiente topográfica.

TABLA 1
Recuento de cuadrículas (250 x 250 m) en las que coincide la presencia significativa ($\geq 50\%$ de superficie) de una formación vegetal y la asignación de un valor o categoría determinada para cada uno de los cuatro factores geológico-topográficos analizados

	FORMACIONES VEGETALES									
	PINAR DE P. NIGRA	PINAR DE P. SYLVESTRIS	QUEJIGAR	CARRASCAL	SABINAR ALBAR	SABINAR NEGRAL	SABINAR NEGRAL	ENEBRAL	GUILLOMAR	
Sustrato geológico										
Triásico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jurásico	14	0	10	11	0	3	0	0	5	5
Weald	24	0	10	0	10	0	7	0	0	0
Urgon	25	0	10	1	3	22	10	14	14	14
Utrillas	6	0	15	2	3	2	2	0	0	0
Cret. Sup.	124	90	25	83	6	22	19	18	18	18
Paleógeno	177	41	2	28	6	27	19	14	14	14
Neógeno	4	0	22	9	0	0	5	3	3	3
Altitud (m s.n.m.)										
1.500-1.550	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
1.450-1.500	0	5	0	0	0	1	0	0	0	0
1.400-1.450	3	39	0	0	0	3	1	0	0	0
1.350-1.400	31	63	2	24	3	11	14	2	2	2
1.300-1.350	46	15	8	37	2	11	5	6	6	6
1.250-1.300	50	7	24	19	6	14	13	25	25	25
1.200-1.250	33	0	34	19	3	5	14	10	10	10
1.150-1.200	44	0	14	15	10	6	5	5	5	5
1.100-1.150	49	0	8	11	1	4	2	2	2	2

1.050-1.100	44	0	2	7	3	13	6	4
1.000-1.050	37	0	2	2	0	7	2	0
950-1.000	22	0	0	0	0	1	0	0
900-950	15	0	0	0	0	0	0	0
Orientación de ladera								
N	157	19	43	9	1	8	27	44
W	47	11	25	32	5	20	9	6
Horizontal	60	73	0	19	3	2	4	0
E	50	19	24	26	11	19	13	1
S	60	9	2	48	8	27	8	3
Pendiente								
Muy baja	29	35	0	11	1	1	2	0
Baja	60	82	4	27	7	18	11	2
Media	204	10	62	65	16	34	41	39
Alta	81	4	28	31	4	23	8	13

TABLA 2
Síntesis de correlaciones entre la distribución de formaciones vegetales y los factores geológico-topográficos

		FORMACIONES VEGETALES							
		PINAR DE P. NIGRA	PINAR DE P. SYLVESTRIS	QUEJIGAR	CARRASCAL	SABINAR ALBAR	SABINAR NEGRAL	ENEBRAL	GUILLOMAR
Sustrato geológico	Cretácico Superior y Paleógeno	-	Cretácico Superior y Paleógeno	-	Cretácico Superior // calizas	-	Calizas	(Calizas)	Calizas
Altitud (m s.n.m.)	<1.450	1.150-1.400	>1.300-1.350	1.150-1.400	1.150-1.400	1.200-1.300	-	-	1.250-1.350
Orientación de ladera	(N)	Horizontal	Horizontal	N	S	(S)	S	-	N
Pendiente	Media-alta	Media-alta	Baja-nula	Media-alta	-	-	-	Media	Media-alta

sustratos calizos y dolomíticos. Su situación típica son las partes altas de las laderas, donde afloran calizas del Urgon o del Cretácico superior, mientras que desaparece en las partes medias y bajas, con sustratos arcilloso-arenosos de la facies Weald y de la Fm. Utrillas. Mientras las primeras sufrieron una degradación menos intensa (aprovechamiento de madera y pastos) y se hallan en vías de regeneración (guillomar), las segundas han sido ocupadas por cultivos en bancales, que se mantienen en la actualidad o están siendo sustituidos por matorral xerófilo.

Los sabinares y enebrales son las formaciones menos restrictivas con respecto al conjunto de factores estudiados. Ya hemos indicado, en todo caso, que la sabina negra y el enebro presentan una tendencia más calcófila que la sabina albar. Cabe añadir que la sabina negra muestra también su carácter más termófilo (COSTA-TENORIO *et al.*, 1987), dominando en las laderas de solana más que la albar (fig. 12c). Respecto a la altitud, la distribución aparentemente muy selectiva de la sabina albar (1.200-1.300 m) creemos que es, una vez más, producto del impacto humano. Son apenas media docena las manchas relevantes de *Juniperus thurifera* las que se conservan en la zona, y el hecho de que todas se sitúen en ese rango de altitudes probablemente sea sólo una circunstancia casual. De hecho, el carácter más termófilo de *J. phoenicea* debería conducir a su predominio en altitudes menores; sin embargo, en Aliaga se extiende ampliamente entre 1.000 y 1.500 m, siendo la única especie arbustiva que coloniza ampliamente las crestas y fajas de caliza y dolomía más escarpadas y desprovistas de suelo (figs. 10, 11c,d).

Los singulares reductos boscosos eurosiberianos (tilar del Collado Alto, tejos y acebos de Valloré, avellanar de Cobatillas; figs. 7b-f, 11b) no han sido incluidos en principio en el análisis espacial sistemático debido a su pequeña extensión. No obstante, sus condicionantes físicos son fáciles de interpretar a partir de su ubicación, y todos ellos tienen relación con la necesaria disponibilidad de humedad. La altitud no parece ejercer un control significativo: el tilar se encuentra a 1.400 m; el avellanar, a 1.320; los tejos y acebos, a 920. Sin embargo, todos estos enclaves se hallan indefectiblemente en laderas norte, y en el caso de los tejos y acebos, en un reducto particularmente umbrío y húmedo del valle del Guadalope. Todos ellos se sitúan, además, cerca de contactos geológicos de calizas o dolomías con unidades infrayacentes más impermeables: los tilos, tejos y acebos, al inicio del primer tramo calco-dolomítico del Cretácico superior, sobre las margas del piso Cenomaniense y las arcillas de la Fm. Utrillas; el avellanar, en el contacto de las calizas del Urgon sobre una franja de Fm. Escucha, en posición estructural invertida. En todos los casos, se trata de condiciones propicias para la acumulación de humedad en el subsuelo: las calizas y dolomías fisuradas filtran gran cantidad de agua y las unidades impermeables infrayacentes la retienen; así lo demuestra la frecuencia con que aparecen manantiales en esa posición geológica.

Es obligado referirse a las demás manchas de vegetación cartografiadas en el mapa de la figura 8 y no tratadas en nuestro análisis, que en gran medida están condicionadas por el impacto antrópico. Los bosques de ribera tienen, por su propia naturaleza, el control imperativo de la disponibilidad de agua; su distribución se ciñe fielmente a los cursos fluviales, a las grandes acequias y, localmente, al entorno de manantiales. No obstante, hay que añadir que su composición, sobre todo en lo que se refiere al predominio absoluto en ellos del chopo cabecero, denota claramente el influjo

de la repoblación y el manejo forestal. La acción humana se ve no sólo en las áreas propiamente de cultivo, sino también en los pastizales; de escasa presencia en el conjunto de la zona, los de mayor extensión ocupan vaguadas en el altiplano de La Lastra o en el barranco de Villarejo, y están ligados sin duda a la gestión agropecuaria de algunas grandes masías.

Por último, el matorral xerófilo que puebla una fracción muy importante del monte aliaguino merece una discusión especial. Podemos diferenciar para él tres tipos de situaciones: por un lado está el matorral propio del piso oromediterráneo, que en Aliaga se combina con el sustrato calcáreo dominante en las altas parameras de La Lastra o la Loma de Camarillas. Las duras condiciones climáticas y edáficas de este ambiente han hecho que la degradación histórica del pinar albar haya dado lugar sólo a matorral bajo de porte almohadillado con *Erinacea anthyllis* (fig. 6f). Por otro, dentro del piso supramediterráneo, el matorral de tomillo, ajedrea, espliego, salvia, gayuba y aliaga se asocia preferentemente a sustratos blandos: margas, arenas y arcillas del Cretácico inferior y del Terciario. Estos dan topografías más suaves (vaguadas o rellanos) y suelos algo más profundos, que en su momento llegarían a soportar bosques más maduros; por el contrario, los resaltes duros de calizas, dolomías o conglomerados sólo habrían sido colonizados por arbustales ralos (fig. 10). La presión antrópica (madera, leña y pastoreo) sobre los primeros fue sin duda más intensa, haciendo desaparecer el bosque por completo; mientras, las sabinas negras y escasas carrascas que crecen en los riscos no fueron objeto del mismo aprovechamiento intensivo. Así, en muchas laderas aparentemente naturalizadas, se da la paradoja de que las zonas de más difícil colonización vegetal (menos suelo, topografía más escarpada) albergan formaciones más maduras. Finalmente, hay que decir que son también dominio del matorral (generalmente en su versión más xerófila, el aliagar) todos los bancales de cultivo abandonados que hay en la zona. El grado de naturalización depende del tiempo transcurrido desde su abandono: los muy recientes apenas se distinguen en las imágenes aéreas de los campos en barbecho, mientras que los muy antiguos se han revegetado hasta el punto de confundirse casi con las laderas naturales (sólo se diferencian por su topografía aterrazada).

FAUNA

La zona de estudio posee una importante representación de la fauna ibérica de zonas calizas montañosas. A esto contribuyen el aislamiento de la zona, su gran diversidad de hábitats y el relativamente buen grado de conservación.

La dimensión del reino animal nos obliga a limitar el número de grupos taxonómicos objeto de estudio en un trabajo de esta extensión; por ello, hemos ceñido la investigación a los grupos vertebrados terrestres. Mamíferos, aves, reptiles y anfibios son los grupos faunísticos más conspicuos que podemos encontrar en el medio natural, por lo que son los principales que deben tenerse en cuenta con vistas a la edición de una guía naturalista para visitantes.

A partir de los datos obtenidos en campo, de la consulta a expertos y de la revisión bibliográfica hemos listado las especies que podrían potencialmente avistarse en el área del Parque Geoló-

gico de Aliaga, y las presentamos aquí clasificadas por hábitats. Hemos prestado especial atención a las especies más relevantes por su abundancia (o, por el contrario, por su escasez), por su importancia biológica o por su preocupante estado de conservación.

Las especies cuya presencia fue revelada en la fase de campo (por avistamiento directo, escucha, identificación de rastros o fototrampeo) están señaladas con un asterisco; el resto de taxones se citan a partir de la información obtenida y contrastada durante la búsqueda bibliográfica. Además, indicamos el estado de conservación de cada especie a nivel nacional siguiendo las categorías de protección que se usan en España de acuerdo con la UICN: Extinta (EX), En Peligro Crítico (CR), En Peligro (EN), Vulnerable (VU), Casi Amenazada (NT), Riesgo menor (LR) y Datos Insuficientes (DD).

MAMÍFEROS

Aun siendo el grupo más considerado por gran parte de la población, la dificultad de su observación directa limita su estudio en el campo; en especial, de las especies de pequeño tamaño y hábitos nocturnos. Los resultados obtenidos del trapeo fotográfico no fueron óptimos; sólo se han conseguido detectar por este medio cuatro especies silvestres: zorro rojo (*Vulpes vulpes*), jabalí (*Sus scrofa*), tejón (*Meles meles*) y garduña (*Martes foina*) (fig. 14). Así, la mayoría de citas en este grupo están basadas en la búsqueda bibliográfica (PURROY y VARELA, 2005; GIL-DELGADO, 2005; PALOMO *et al.*, 2007; SALVADOR, 2009).

Mamíferos de hábitat acuático

Los cursos fluviales y el ambiente ripario son refugios de fauna sin igual. La mayoría de los mamíferos de la zona muestran preferencia por este hábitat, donde acuden a beber, y ciertas especies tienen una dependencia clara del mismo.

En el mismo lecho del río habitan algunas especies nadadoras: la común rata de agua (**Arvicola sapidus*², VU) y la nutria paleártica (**Lutra lutra*). Esta última es una especie en recuperación a nivel nacional, abundante en la zona aunque de forma reciente, y de la que hemos encontrado excrementos tanto en el río de la Val como en el Guadalope.

Otros tres carnívoros de cierto tamaño se asocian también al bosque de galería; son el tejón (**Meles meles*; fig. 14b), el turón (*Mustela putorius*) y la garduña (**Martes foina*; fig. 14c). El tejón (tajugo, en la denominación local) es una especie abundante y bien conocida en la zona, que excava madrigueras en pequeños cortados de los sedimentos blandos limo-arenosos que flanquean los principales barrancos, pero que despliega su actividad nocturna por un amplio territorio de riberas y lomas (fig. 14d).

2 Con un asterisco se indican las especies cuya presencia se ha evidenciado en campo por avistamiento directo, escucha, identificación de rastro o fototrampeo.

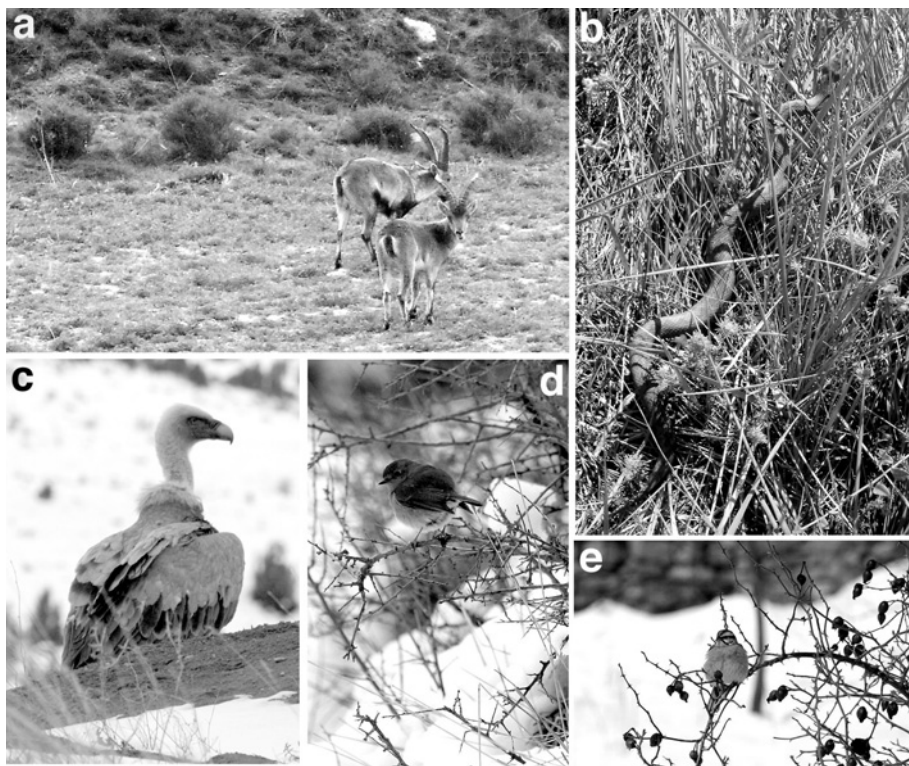


Fig. 13. Algunos ejemplos de fauna observada en avistamientos diurnos. (a) Cabra montés, *Capra pyrenaica*; sur de Campos. (b) víbora hocicuda, *Vipera latastei*; río de la Val, Cobatillas. (c) Buitre leonado, *Gyps fulvus*; sur de Campos. (d) Petirrojo, *Erithacus rubecula*; río de la Val, Cobatillas. (e) Escribano montesino, *Emberiza cia*; río de la Val, Cobatillas. (c, d, e: fotografías de R. Izquierdo.)

Por último, encontramos citadas también dos especies de murciélagos asociadas al hábitat ripario: el murciélago de Cabrera (*Pipistrellus pygmaeus*), que habita sobre todo en bosques de galería, y el murciélago montañero (*Hypsugo savii*, NT), que coliga con los cañones como Boca Infierno. Aunque *Hypsugo savii*, al igual que cinco de las siete especies de murciélagos que aparecen en la zona, está amenazado a nivel estatal, no lo está en Aragón. En la bibliografía se le considera una especie tan frecuente como el *Pipistrellus pygmaeus* (ALCALDE et al., 2008).

Mamíferos de campiña, huertas, cultivos y arbustal

El jabalí (**Sus scrofa*), que es omnívoro y muy plástico, y el zorro rojo (**Vulpes vulpes*; fig. 14a), que es el carnívoro más abundante de cuantos habitan en la zona, son muy ubicuos y pueden encontrarse en los diferentes medios del área de estudio. Aunque ambos fueron fotografiados por



Fig. 14. Pruebas de la presencia de algunos mamíferos nocturnos. (a) Zorro rojo (*Vulpes vulpes*), captado mediante fototrampeo en el entorno del río de la Val, Cobatillas. (b) Ídem tejón, *Meles meles*. (c) Ídem garduña, *Martes foina*. (d) Huella de tejón; loma de Camarillas.

fototrampeo junto al río de la Val, es más frecuente observarlos merodeando las zonas de cultivo o los arbustales próximos.

Además de la abundante comadreja (*Mustela nivalis*), cabe citar en este hábitat la musaraña gris (*Crocidura russula*) y el musgaño de Cabrera (*Neomys anomalus*), de la familia de los soricomorfos, que aparecen citados para Aliaga en diversos atlas faunísticos. Estos dos últimos mamíferos se asocian a muros y rocas, donde pasan el día, debido a sus hábitos nocturnos. Son de los más pequeños de la Península y, a la par, son voraces insectívoros capaces de cazar presas de su propio tamaño y esenciales en la dieta de muchos depredadores de tamaño pequeño y medio. La relación inversa entre tamaño y abundancia de cada especie, que se relaciona directamente con la biomasa sostenible en cada nivel trófico, hace de estas especies, junto a los roedores, las más abundantes en el campo.

Los roedores pueden considerarse especies de carácter generalista y con una distribución amplia, aunque con preferencia por las zonas más templadas. En Aliaga encontramos especies ligadas

a cultivos, como el topillo mediterráneo (*Microtus duodecimcostatus*) o el ratón moruno (*Mus spretus*), o al medio urbano, como el ratón casero (**Mus musculus*), la rata negra (**Rattus rattus*) y la rata parda (*Rattus norvegicus*).

Otros mamíferos de tamaño pequeño o medio que podemos encontrar en el hábitat de sotos dentro del Parque Geológico son los erizos y los quirópteros, los grupos insectívoros de mayor entidad y ambos de hábitos nocturnos. Los murciélagos cazan de manera muy activa durante el ocaso y la noche; durante el día muchos de ellos ocupan cavidades artificiales, y tienen en las numerosas casas abandonadas de la zona un gran recurso. Los insectos son la base proteica de su alimentación omnívora, por lo que es fácil ver a las especies más comunes, como es el murciélago enano (*Pipistrellus pipistrellus*), volar en torno a farolas, donde polillas y otros insectos se concentran de noche. Otras especies que se refugian en edificios, y que aparecen citadas bajo alguna categoría de amenaza, son el murciélago grande de herradura (*Rhinolophus ferrumequinum*, NT), el murciélago pequeño de herradura (*Rhinolophus hipposideros*, NT), el murciélago mediano de herradura (*Rhinolophus euryale*, VU) y el murciélago ratonero mediano (*Myotis blythii*, VU) (ALCALDE *et al.*, 2008). Por su parte, y a falta de citas de otros erizos o topos, el erizo europeo (**Erinaceus europaeus*) es el único representante de los erinaceomorfos en la zona. Aunque muestra preferencia por las zonas húmedas boscosas, también puede acercarse a núcleos urbanos.

Mamíferos de los bosques

La ardilla (*Sciurus vulgaris*) es la especie de mamífero forestal más conocida. Cuando no se avista directamente, es fácil detectar su presencia por los restos de piñas roídas, e incluso por las despensas de alimentos (bellotas, piñones, etc.) encontrados de forma esporádica en el sotobosque. Estas despensas se detectan en primavera por la gran cantidad de encinas, pinos, etc. que germinan en unos centímetros cuadrados de terreno. Del resto tenemos referencias prácticamente sólo por las fuentes bibliográficas (PURROY y VARELA, 2005; GIL-DELGADO, 2005; PALOMO *et al.*, 2007; SALVADOR, 2009). El ratón de campo (*Apodemus sylvaticus*) y el lirón careto (*Eliomys quercinus*), que hace sus madrigueras en troncos viejos, son dos roedores típicamente asociados a este hábitat. Además se citan dos carnívoros, la gineta (*Genetta genetta*) y el gato montés europeo (*Felis silvestris*, NT). La primera también se puede comportar como generalista, pero su hábitat principal son zonas forestadas con roquedos y cursos fluviales, como la zona del Galabardal. El gato montés, por su parte, necesita de áreas heterogéneas compuestas por zonas forestadas y abiertas, que también tienen representación en Aliaga y sus alrededores.

Mamíferos de roquedos y cortados

La especie montañera por excelencia es la cabra montés (**Capra pyrenaica*; fig. 13a), que tradicionalmente se ha circunscrito a las zonas más escarpadas y normalmente poco accesibles. Esta especie ha sufrido la pérdida de algunas de sus subespecies en épocas recientes en España (PÉREZ *et al.*, 2002), aunque en la actualidad sus poblaciones se recuperan. La población del Maestrazgo, una

de las mayores de España (GALINDO, 1965), goza actualmente de muy buena salud, y su reciente crecimiento la ha hecho esparcirse fuera de sus refugios tradicionales.

En el área del Parque Geológico, la cabra montés suele verse con frecuencia en prácticamente todas las áreas escarpadas: estrechos del Guadalope (Aldehuela, Hoz Mala, Boca Infierno, Valloré, norte de Miravete); sierras y muelas del sector de La Cañadilla-Montoro de Mezquita (Galabardal, Cerra, Sierra del Señor, alto de Cobatillas); norte de Campos (barranco de la Tejería); alrededores de Aliaga (alto de Dehesillas, La Olla); alrededores de Cobatillas (Cabezo de la Muerte, El Rollo). No es demasiado fácil avistar machos adultos, pero sí grupos familiares de hembras con crías que en ocasiones llegan a totalizar más de una decena de individuos.

Mamíferos de la estepa

Las dos especies de lagomorfos, el conejo (*Oryctolagus cuniculus*, VU) y la liebre ibérica (*Lepus granatensis*), habitan en zonas abiertas y de matorral, así como en la interfase bosque-herbazal. En la zona de Aliaga son relativamente abundantes; es fácil su avistamiento en estos hábitats, y fácil también ver las madrigueras o galerías que los conejos construyen. Las liebres no cavan, sino que reposan encamadas, aplastando la vegetación para formar un lecho. A falta de carnívoros terrestres en este hábitat, son las rapaces de mayor tamaño las únicas que depredan estas especies.

El corzo (*Capreolus capreolus*, NT), artiodáctilo herbívoro como la cabra, aparece en zonas abiertas y también en las boscosas, a menor altitud que ésta. El tamaño de ambas especies y del jabalí, el otro artiodáctilo que aparece en la zona, hace que no tengan apenas presión por parte de los depredadores.

AVES

A diferencia de los mamíferos, los censos de avifauna han dado lugar a un extenso listado de especies que encontramos en general asociadas a distintos hábitats.

Aves de hábitat acuático

En el embalse de la Central Térmica de Aliaga podemos encontrar especies nadadoras como el zampullín común (*Tachybaptus ruficollis*), cormorán grande (*Phalacrocorax carbo*), ánade azulón (*Anas platyrhynchos*) o gallineta común (*Gallinula chloropus*); también hemos observado garza real (*Ardea cinérea*).

Además, hay otras especies no nadadoras pero asociadas al agua. El mirlo acuático europeo (*Cinclus cinclus*), típico de cursos altos de los ríos, es llamativo por su comportamiento subacuático de caza, y el martín pescador común (*Alcedo atthis*, NT), que ocupa así mismo zonas ribereñas donde desde una percha acecha a peces de pequeño tamaño, lo es por su colorido plumaje. Ambas especies han sido observadas en el Guadalope. Las lavanderas, que deben su nombre a su asociación con este hábitat, también están presentes en los veranos aliaguinos. Las especies exis-

tentes son la lavandera blanca (**Motacilla alba*), la lavandera boyera (*Motacilla flava*) y la lavandera cascadeña (**Motacilla cinérea*, DD).

La benevolencia del hábitat ripario hace que muchas otras especies, si no directamente asociadas a las masas de agua, sí lo estén con la vegetación que crece en torno a éstas. Así, en los bosques de galería en torno al río de la Val o al Guadalope es típico encontrar especies residentes como el chochín común (**Troglodytes troglodytes*), el ruiseñor bastardo (**Cettia cetti*) o el buitron (**Cisticola juncidis*). También, otras estivales, como el ruiseñor común (**Luscinia megarhynchos*), la oropéndola (**Oriolus oriolus*), la curruca mosquitera (*Sylvia borin*), la curruca zarcera (*Sylvia communis*, poco frecuente), el zarcero común (*Hippolais polyglotta*), así como los pájaros que ocupan los carrizales: el carricerín común (**Acrocephalus schoenobaenus*), el carricero común (*Acrocephalus scirpaceus*) y el carricero tordal (**Acrocephalus arundinaceus*).

Aves de campiña, huertas, cultivos y arbustal

Cuando la influencia directa de la capa freática se pierde, en el fondo de los valles y zonas de menor altitud, y asociadas al ambiente de campiña, arbustal o a los cultivos, encontramos también gran diversidad de aves de pequeño tamaño. Aquí habitan algunas especies de embercídos: triguero (**Miliaria calandra*), escribano soteño (**Emberiza cirius*) y escribano hortelano (*Emberiza hortulana*). El escribano montesino (**Emberiza cia*; fig. 13e) también puede verse en este hábitat, aunque también se expande a zonas más secas y sin vegetación de mayor altitud.

Especies comunes son el jilguero (**Carduelis carduelis*) y el verdcecillo (**Serinus serinus*); otras especies emparentadas con éstos pero menos comunes son el verderón común (**Carduelis chloris*), el verderón serrano (*Serinus citrinella*) y el pardillo común (**Carduelis cannabina*). También se encuentra tórtola europea (**Streptopelia turtur*, VU, estival), acentor común (**Prunella modularis*) y algunas curruacas más o menos abundantes: curruca cabecinegra (**Sylvia melanocephala*, DD), curruca carrasqueña (**Sylvia cantillans*, estival), y la escasa curruca tomillera (*Sylvia conspicillata*, DD, estival).

De tamaño algo mayor son los alcaudones: alcaudón común (*Lanius senator*, NT) y alcaudón real (**Lanius meridionalis*, NT), pequeñas aves de presa que cazan insectos, reptiles e incluso otros pájaros y pequeños mamíferos. Por último, el cuco común (**Cuculus canorus*) y el críalo europeo (*Clamator glandarius*), ambos de carácter estival, son las aves de mayor tamaño asociadas al hábitat de campiña.

Los recursos y benignidad de este ambiente hacen que en él se localicen en general los asentamientos humanos: Aliaga, Santa Bárbara, Cobatillas. Asociadas al hábitat más antropizado encontramos también algunas de las especies más comunes. Entre ellas se encuentra indudablemente el gorrión común (**Passer domesticus*). Sus parientes, el gorrión molinero (**Passer montanus*) y el gorrión chillón (**Petronia petronia*), también habitan en el parque, pero en número mucho menor.

Junto a los gorriones, otro de los grupos más conocidos por su asociación al hábitat urbano son las palomas, que constituyen también en su mayoría especies cinegéticas. Las especies asociadas a los núcleos urbanos son la paloma bravía (**Columba livia*), la paloma cimarrona (**Columba livia* ssp. *domestica*), la paloma zurita (**Columba oenas*, DD) y la tórtola turca (**Streptopelia decaocto*).

Otras especies muy generalistas que podemos encontrar en el medio más antropizado son el estornino negro (**Sturnus unicolor*) y, en verano, vencejo común (**Apus apus*), golondrina común (**Hirundo rustica*) y avión común (**Delinchon urbica*).

Entre las especies nocturnas, hemos detectado al chotacabras cuellirojo (**Caprimulgus caprimulgus*) y a dos rapaces: el autillo europeo (**Otus scops*) y el mochuelo europeo (**Athene noctua*). La lechuza común (**Tyto alba*), comúnmente ligada a zonas antropizadas, nos ha sorprendido al no dejarse detectar durante nuestros censos; no obstante, sí existen citas en la zona.

Aves de los bosques

Gran parte de las aves de pequeño tamaño que hemos hallado en nuestros censos o localizado en citas bibliográficas (<http://www.javierblasco.arrakis.es/>; JUANA y VARELA, 2005; MULLARNEY y SVENSSON, 2006) se encuentran en mayor o menor medida asociadas al hábitat forestal, y en una abundancia variable.

Entre las especies de menor tamaño encontramos las pertenecientes a la familia de los paros: herrerillo común (**Cyanistes caeruleus*) y carbonero común (**Parus major*), ambas frecuentes, herrerillo capuchino (**Parus cristatus*) y carbonero garrapinos (**Parus ater*). También, algunos fringílidos: pinzón vulgar (**Fringilla coelebs*), pinzón real (**Fringilla montifringilla*, invern), lúgano (**Carduelis spinus*) y piquituerto común (**Loxia curvirostra*). Finalmente, cabe destacar la variedad de sílvidos: las currucas capirotada (**Sylvia atricapilla*) y rabilarga (**Sylvia undata*), los mosquiteros común (**Phylloscopus collybita*, invern) y papialbo (**Phylloscopus bonelli*, estival y con preferencia por el quejigar) y los reyezuelos listado (**Regulus ignicapilla*) y sencillo (**Regulus regulus*). De otros grupos, también hemos visto petirrojo europeo (**Erithacus rubecula*, DD; fig. 13d), mito (**Aegithalus caudatus*), trepador azul (**Sitta europea*), agateador común (**Certhia brachydactyla*) y papamoscas cerrojillo (**Ficedula hypoleuca*, estival).

Entre las especies de mayor tamaño encontramos la paloma torcaz (**Columba palumbus*), córvidos como el arrendajo común (**Garrulus glandarius*), la urraca (**Pica pica*) y la corneja común (**Corvus corone*), y túrdidos, con el mirlo común (**Turdus merula*, DD) y los zorzales real (**Turdus pilaris*), común (**Turdus philomelos*) y charlo (**Turdus viscivorus*). También encontramos algunos pájaros carpinteros que habitan en la zona del Galabardal, donde pueden observarse sus marcas en los troncos de *Pinus nigra*. Las especies existentes son el pito real (**Picus viridis*), el pico picapinos (**Dendrocopos major*) y el torcecuello europeo (**Jynx torquilla*, DD). Finalmente, encontramos citadas también algunas rapaces forestales diurnas: alcotán europeo (**Falco subbuteo*, NT), gavilán común (**Accipiter nisus*, VU) y azor común (**Accipiter gentilis*), así como nocturnas: cárabo común (**Strix aluco*) y búho chico (**Asio otus*).

Aves de roquedos y cortados

Los roquedos y cortados son un ambiente abundante en el área de Aliaga, sobre todo en su parte este, aunque encontramos también algunos siguiendo en la orilla derecha del río de la Val entre Co-

batillas y Santa Bárbara. Podemos encontrar aquí especies de cierto tamaño como la chova piquirroja (**Pyrhcorax pyrrhcorax*, NT), y otros córvidos como el cuervo (**Corvus corax*) o la grajilla (**Corvus monedula*), de carácter más generalista en el uso de hábitat. Con la misma ubicuidad encontramos también los colirrojos tizón (**Phoenicurus ochruros*) y real (**Phoenicurus phoenicurus*, VU).

Algunos de los roquedos que estrechan la carretera hacia La Aldehuela son tomados en verano por vencejos reales (*Apus melba*) y aviones roqueros (**Ptyonoprogne rupestris*). Así mismo, hemos encontrado otras especies propias de cortados como el abejaruco europeo (**Merops apiaster*), también estival, y los roqueros rojo (*Monticola saxatilis*) y solitario (**Monticola solitarius*), que ocupan este nicho todo el año y pueden verse en los escarpes que circundan el embalse de la Térmica.

Aunque su gran capacidad de desplazamiento y área de campeo las hace visibles desde cualquier punto del Parque, los nidos de algunas rapaces se encuentran también en estos emplazamientos; es el caso de las dos especies de buitres que habitan aquí, y que difieren drásticamente en su abundancia: el buitre leonado (**Gyps fulvus*; Fig. 13c) y el alimoche común (**Neophron percnopterus*, EN). El buitre leonado presenta una gran población que anida, en particular, en las escarpadas paredes de la Muela del Galabardal que dan al Río Guadalope. Del alimoche, a pesar de su grado de amenaza, se sabe que al menos una pareja anida en la zona. En la misma situación de amenaza que el alimoche se encuentran el halcón peregrino (**Falco peregrinus*) y el águila real (**Aquila crysaetos*, NT).

De especial interés resulta también la presencia del búho real (**Bubo bubo*), al cual hemos podido también avistar en un par de ocasiones cerca de nidos, y que es capaz de apresar a otras grandes aves (incluso otras rapaces) y mamíferos (inclusive zorros y tejones).

Aves de la estepa

Por encima de los cortados encontramos generalizado el matorral de menor porte, abundante en nuestra zona de estudio, donde encontramos aves esteparias que tienen así mismo una buena representación. Estas especies pasan desapercibidas por sus colores crípticos, y quedan delatadas más fácilmente por sus reclamos. Entre las de mayor tamaño encontramos especies corredoras, como la perdiz roja (**Alectoris rufa*, DD) y la codorniz común (**Coturnix coturnix*, DD), faisánidas de gran importancia cinegética y como presa de rapaces. El alcaraván común (*Burhinus oedicnemus*, NT) y el chotacabras gris (**Caprimulgus europaeus*), de hábitos crepusculares y nocturnos, también están citados en la zona.

Se asocian también a este tipo de hábitat la bisbita campestre (**Anthus campestris*), la abubilla (**Upupa epops*, estival) y algunos túrdidos como la tarabilla común (**Saxicola torquatus*), que es muy abundante, la tarabilla norteña (*Saxicola rubetra*) y las collalbas gris (**Oenanthe oenanthe*), rubia (**Oenanthe hispanica*, NT) y negra (**Oenanthe leucura*).

De menor tamaño, pero de hábitos esteparios por excelencia, es el grupo de las alondras, representado por la alondra común (**Alauda arvensis*), la cogujada común (**Galerida cristata*), la cogujada montesina (**Galerida theklae*), la terrera común (*Calandrella brachydactyla*, VU), la calandria común (**Melanocorypha calandra*), la totovía (**Lullula arborea*) y la alondra ricotí (*Chersophilus*

duponti, EN). Esta última especie, citada en diferentes lugares de la geografía aragonesa, se encuentra en una situación comprometida puesto que recientemente se ha advertido del descenso de sus poblaciones, por lo que su presencia en Aliaga es difícil de confirmar.

Las rapaces de estepa y monte abierto que podemos ver sobre estas zonas son el ratonero común (**Buteo buteo*, NT), el milano negro (**Milvus migrans*, NT), el cernicalo vulgar (**Falco tinnunculus*), la culebrera europea (**Circaetus gallicus*) y el águila calzada (*Hieraetus pennatus*).

HERPETOFAUNA

La herpetofauna es uno de los grupos menos estudiados en general, a la vez que con mayores problemas de conservación. En especial, los anfibios son un grupo muy sensible por su dependencia de las masas limpias de agua; mientras que hasta hace diez años los renacuajos eran abundantes en muchos abrevaderos, en la actualidad éstos se encuentran en número mucho menor. Los problemas a nivel general del grupo de los reptiles proceden más directamente de la mano del hombre, que los ha acosado y matado desde tiempo atrás. En comparación con los anteriores, ambos grupos son poco diversos en nuestro territorio.

Los únicos anfibios que podemos encontrar en Aliaga son anuros (sapos y ranas); urodelos (salamandras y tritones) no se encuentran en la provincia de Teruel (SERRANO *et al.*, 2001; LIBEROS *et al.*, 2006). Las especies que podemos encontrar con mayor facilidad en el territorio del Parque Geológico son el sapo corredor (*Bufo calamita*, LR) y la rana común (**Rana perezi*, LR), las dos más abundantes junto al sapo común (**Bufo bufo*, LR). Estas especies pueden encontrarse repartidas por las zonas de fondo de valle, campiñas, riberas y núcleos urbanos. El sapillo moteado (*Pelodites punctatus*, LR), que es escaso, y el sapo partero (*Alytes obstetricans*, NT) se asimilan porque pueden llegar a ocupar terrenos a gran altitud (hasta los 1.900 metros en la sierra de Gúdar).

Respecto a los reptiles, podemos encontrar tanto ofidios (serpientes) como saurios (lagartijas y salamanguetas) (SERRANO *et al.*, 2001; LIBEROS *et al.*, 2006). Entre los ofidios cabe destacar diversas especies de culebras. En general, éstas son poco restrictivas en el uso del territorio; es el caso de la culebra lisa meridional (*Coronella giróndica*, LR) y la culebra de collar (*Natrix natrix*, LR, con escasas citas). La culebra bastarda (*Malpolon monspessulanus*, LR) y la culebra de escalera (**Rhynchis scalaris*) son así mismo ubicuas, aunque con preferencia por ambientes no demasiado fríos; por tanto, son más abundantes en huertas y riberas y están ausentes en las zonas de mayor altitud. De distribución más limitada, aunque abundante, es la culebra viperina (**Natrix maura*, LR), asociada exclusivamente a núcleos de agua. También abundan la culebra lisa europea (*Coronella austriaca*, LR) y la víbora hocicuda (**Vipera latastei*, NT; fig. 13b), que son las que viven a mayor altitud. La culebra lisa se desenvuelve por los claros de pinares; la víbora hocicuda suele habitar zonas de matorral, aunque se ve también frecuentemente en herbazales de ribera y huertas.

Las especies del grupo de los saurios son en general más familiares; entre ellas se encuentran diversas lagartijas como la lagartija ibérica (**Podarcis hispanica*, LR), que es la más común por aparecer en los núcleos urbanos, y la lagartija colilarga (*Psammotromus algirus*, LR), que es la más

abundante en Teruel y se asocia a la vegetación de sotobosque. La lagartija roquera (*Podarcis muralis*) es una especie montana que habita en las zonas de mayor altitud. Pertenece también a este grupo el lagarto ocelado (**Timon lepidus*, LR), una especie ubicua (aunque tiene preferencia por la vegetación abierta, para asolearse) y muy territorial. Por último, el eslizón (*Chalcides bedriagail*, NT), también ubicuo pero que suele encontrarse bajo piedras, y la salamanguera (**Tarentola mauritanica*), que es termófila y habita en las zonas de menor altitud en torno al Guadalopec.

CONCLUSIONES

La riqueza florística y faunística del territorio que abarca el Parque Geológico de Aliaga constituye un activo de su patrimonio natural que debe ser protegido y divulgado en paralelo con su patrimonio geológico. Constituye una muestra interesante y bien representativa de los ecosistemas de la montaña ibérica mediterránea interior, y en concreto de los que caracterizan a la región del Maestrazgo. La estrecha coexistencia de los diversos bosques propios de la montaña calcárea mediterránea (pinar, quejigar, carrascal, sabinar), así como la conservación de curiosos relictos de vegetación atlántica (tilo, tejo, acebo, avellano), hacen de la zona un crisol de biotopos en los que se desenvuelve una variada fauna de aves y mamíferos.

Tal diversidad es consecuencia, a su vez, de la variedad de hábitats que el medio físico proporciona. En primer lugar, de la variedad de sustratos rocosos de una zona en la que están representados todos los terrenos sedimentarios desde el Triásico superior hasta el Cuaternario, incluyendo desde formaciones calcáreas de origen marino hasta arcillas y arenas fluviales o yesos lacustres. En segundo lugar, ha sido decisivo el concurso de una estructura tectónica compleja, su arrasamiento erosivo a finales del Terciario y el posterior encajamiento de la red fluvial del Guadalopec. Todo ello ha propiciado una amplitud topográfica notable (de 880 a 1.548 m s.n.m.) y una gran disparidad de pendientes y orientaciones de las laderas (extensos altiplanos, amplias vaguadas, escarpes y crestas verticales, contrastes solana-umbría muy pronunciados...). La disponibilidad de agua (procurada más por el clima frío, que protege de la evapotranspiración, que por las escasas precipitaciones) también es desigual: pueden encontrarse en la zona desde áridas parameras hasta enclaves umbríos y húmedos junto a ríos o manantiales.

El estado de conservación de la vegetación, de la fauna y de sus hábitats es en general bueno. El impacto humano ha ido atenuándose en los últimos tiempos. Las actividades de aprovechamiento agropecuario y forestal (roturación, pastoreo, extracción de madera y leña...), que produjeron en los pasados siglos una importante deforestación, se han mitigado con la despoblación del territorio en las últimas décadas. La actividad minera e industrial que sostuvo la economía de la zona a mediados del siglo XX tuvo impactos severos, aunque limitados espacialmente; en la actualidad se encuentra casi completamente detenida, si bien persisten en el paisaje huellas de la misma no restauradas. Junto a estos impactos puntuales, existe, como en tantos territorios, la impronta difusa de la contaminación agropecuaria e industrial en el aire, el agua y los suelos, causante sin duda de la pérdida de diversidad faunística. El deterioro de las poblaciones de interés cinegético es sólo una de

sus manifestaciones, en cierta medida "compensada" por la expansión reciente de grandes vertebrados como la cabra montés o el buitre leonado.

En conjunto, la riqueza y el estado de conservación de los ecosistemas justifican los esfuerzos hechos hasta el presente para su protección (Z.E.P.A. de *Río Guadalupe-Maestrazgo* y L.I.C. de *Muelas y Estrechos del Río Guadalupe*), y exigen redoblarlos en el futuro. El estudio y divulgación de esta riqueza debe ir en paralelo con el de la rica geología, buscando sinergias que contribuyan a la puesta en valor global del medio natural. La pertenencia del Parque Geológico de Aliaga al Parque Cultural del Maestrazgo, miembro a su vez de la European Geoparks Network y de la red Global Geoparks de la UNESCO, proporciona un marco adecuado en el que las iniciativas de ese tipo deben cristalizar, desarrollarse y tener el eco nacional e internacional que sin duda merecen. Con este trabajo hemos querido contribuir modestamente a dicha tarea.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de Héctor Amador, Rafael Izquierdo y Sofía Morcelle en la realización de los censos de fauna. Benito Valdés y Francisco José Pina nos ayudaron en la determinación de pliegos de flora. Antonio Torrijo nos asesoró en la herpetofauna, y Francisco Palomares en el reconocimiento de huellas de mamíferos. Julia Escorihuela y Silvia Pérez colaboraron en algunos transectos de vegetación. Alejandro Pérez Cueva y Ángel Pérez Daudén revisaron el manuscrito original y nos hicieron interesantes y útiles observaciones relativas a la climatología, hidrología, flora y fauna. Este trabajo ha sido financiado por una Ayuda a la Investigación del Instituto de Estudios Turolenses (convocatoria de 2008).

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILLELLA, A. (1992), «Estudio del *Sinjuniperetum hemisphaerico-thurierae* en el sector maestracense», *Actas Simposio Internacional de Botánica P. Font Quer (1988), II (Fanerogamia)*, pp. 219-225.
- AGUILLELLA, A. y MATEO, G. (1985), «Relaciones entre el clima y la vegetación en la cuenca del río Guadalupe (Aragón, España)», en A. BLANCO DE PABLO (ed.), *Avances sobre la Investigación en Bioclimatología*, Centro de Edafología y Biología Aplicada, CSIC, Ediciones Universidad de Salamanca, pp. 389-396.
- ALCALDE, J.T.; TRUJILLO, D.; ARTÁZCOZ, A. y AGUIRRE-MENDI, P.T. (2008), «Distribución y estado de conservación de los quirópteros en Aragón», *Graellsia*, 64(1), pp. 3-16.
- ASCASO, A. y CUADRAT, J.M. (1981), «El Clima», en A. HIGUERAS, *Geografía de Aragón*, I, Zaragoza, Guara Editorial, pp. 93-139.
- BOURRUT, H. (2007), «La vegetación y la fauna», en S. ALBERTO y J. ROYO (ed.), *Comarca de las Cuencas Mineras*, Colección Territorio 24, Zaragoza, Gobierno de Aragón, pp. 41-56.
- BROWN, R.; FERGUSON, J.; LAURENCE, M. y LEES, D. (2003), *Huellas y señales. Guía de identificación de las aves de España y de Europa*, Barcelona, Omega.
- COSTA-TENORIO, M.; MORLA-JUARISTI, M. y SAINZ-OLLERO, H. (1987), «Contribución a la tipificación de los sabineros albares (*Juniperus thurifera* L.) en el Sistema Ibérico meridional», *Lazaroa*, 7, pp. 307-317.

- COSTA-TENORIO, M.; MORLA, C. y SAINZ, H. (eds.) (2001), *Los Bosques Ibéricos*, Barcelona, Planeta.
- DE JAIME, CH. y HERRERO, F. (2007), *El chopo cabecero en el sur de Aragón, la identidad de un paisaje*, Calamocha, Centro de Estudios del Jiloca.
- FABREGAT, C. y LÓPEZ, S. (1996), *Estudio de localización de enclaves singulares de flora en la provincia de Teruel*, Gobierno de Aragón, informe inédito.
- GALÁN, A. (1958), «Fauna ictiológica del Guadalope y la Estanca de Alcañiz», *Teruel*, 19, pp. 173-184.
- GALINDO, F. (1965), *La Capra pyrenaica hispánica de los Puertos de Beceite (Teruel)*, Teruel, Imprenta Escuela Provincial.
- GIL-DELGADO, J.A. (2005), «Patrimonio natural de Teruel: anfibios, reptiles, aves y mamíferos», *Teruel*, 90 [I], pp. 147-158.
- GOBIERNO DE ARAGÓN (1995), *Catálogo de especies amenazadas de Aragón*. http://portal.aragon.es/portal/page/portal/MEDIOAMBIENTE/MEDIONATURAL/BIODIVERSIDAD/Catalogo_especies
- GONZÁLEZ, A. y GUIMERA, J. (1993), «Sedimentación sintectónica en una cuenca transportada sobre una lámina de cabalgamiento: la cubeta terciaria de Aliaga», *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 6, pp. 151-165.
- IGN (2006), *Mapa de Suelos de España 1:1.000.000*, Madrid, Instituto Geográfico Nacional.
- JUANA, E. y VARELA, J.M. (2005), *Aves de España*, Barcelona, Lynx Edicions-SEO/BirdLife.
- LIBEROS, C.; MARTÍN, M.A. y SERRANO, F.J. (2006), *Anfibios y reptiles de la provincia de Teruel*, Col. Cartillas Turolenses, 25, Teruel, Instituto de Estudios Turolenses.
- LOZANO-TENA, M.V. (coord.) (2004), *Comarca de Gúdar-Javalambre*, Zaragoza, Diputación General de Aragón.
- MADROÑO, A.; GONZÁLEZ, C. y ATIENZA, J.C., (eds.) (2004), *Libro rojo de las aves de España*, Madrid, Dirección General para la Biodiversidad-SEO/Birdlife.
- MATEO SANZ, G. (1990), *Catálogo florístico de la provincia de Teruel*, Teruel, Instituto de Estudios Turolenses.
- (1992), *Claves para la flora de la provincia de Teruel*, Teruel, Instituto de Estudios Turolenses.
- MATEO SANZ, G.; TORRES GÓMEZ, C. y FABALO ALÓS, J. (2003), «Flora del Valle del Escriche (Corbalán, Teruel)», *Flora Montibérica*, 24, pp. 85-98.
- MULLARNEY, K. y SVENSSON, L. (2006), *Guía de aves*, Barcelona, Omega.
- PALOMO, L.J.; GISBERT, J. y BLANCO, J.C. (eds.) (2007), *Atlas y Libro Rojo de los mamíferos de España*, Madrid, Dirección General para la Biodiversidad-SECEM-SECEMU.
- PEÑA, J.L.; CUADRAT, J.M. y SÁNCHEZ-FABRE, M. (2002), *El clima de la Provincia de Teruel*, Col. Cartillas Turolenses, nº 20, Teruel, Instituto de Estudios Turolenses.
- PÉREZ, J.M.; GRANADOS, J.E.; SORIGUER, R.C.; FANDOS, P.; MÁRQUEZ, F.J. y CRAMPE, J.P. (2002), «Distribution, status and conservation problems of the Spanish Ibex, *Capra pyrenaica* (Mammalia: Artiodactyla)», *Mammalia Review*, 32(1), pp. 26-39.
- PÉREZ-ONTENIENTE, A., y RODRÍGUEZ-BABÍO, C. (2007), «Lombrices de tierra de las sierras de Gúdar y Javalambre (Teruel)», *Teruel*, 91 [I], pp. 113-135.
- PITARCH, R. (2000), «Aproximación al catálogo florístico del término municipal de Mosqueruela (Teruel)», *Teruel*, 88-89 [I], pp. 247-293.
- PLEGUEZUELOS, J.M.; MÁRQUEZ, R. y LIZANA, M. (eds.) (2002), *Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España*, Madrid, Dirección General de Conservación de la Naturaleza-Asociación Herpetológica Española.

- PONZ-MIRANDA, A. (2005), «Flora y fauna del Bajo Aragón», en J.I. MICOLAU-ADELL y T. THOMSON-LLISTERRI (coords.), *Comarca del Bajo Aragón*, Zaragoza, Gobierno de Aragón, pp. 43-53.
- PURROY, F.J. y VARELA, J.M. (2005), *Guía de los mamíferos de España: península, Baleares y Canarias*, Barcelona, Lynx.
- QUEROL, J.V. (1995), *Ecogeografía y explotación forestal en las serranías de Albarracín y Gúdar-Maestrazgo*, Zaragoza, Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón.
- RIVAS-GODAY, S. y BORJA, J. (1961), «Estudio de la vegetación y flórua del macizo de Gúdar y Javalambre», *Anales del Instituto Botánico Cavanilles*, 19, pp. 1-550.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S. (1981), «Les étages bioclimatiques de la végétation de la Península Ibérique», *Actas III Congreso OPTIMA*, Madrid, *Anales del Jardín Botánico*, 37(2), pp. 251-268.
- (1986), *Mapa de las series de vegetación de España 1:400.000, Hoja 14-Teruel*, Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S. y RIVAS-SÁENZ, S. (1996-2009), *Sistema de Clasificación Bioclimática Mundial*, Madrid, Centro de Investigaciones Fitosociológicas, <http://www.ucm.es/info/cif>.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S.; DÍAZ, T.E.; FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F.; IZCO, J.; LOIDI, J.; LOUSA, M. y PENAS, A. (2002), «Vascular plant communities of Spain and Portugal. Addenda to the syntaxonomical checklist of 2001, Part I», *Itinera Geobotanica*, 15(1), pp. 5-432.
- SALVADOR, A. (2009), *Enciclopedia virtual de los vertebrados ibéricos*, Madrid, Museo Nacional de Ciencias Naturales-CSIC, <http://www.vertebradosibericos.org>.
- SAMPIETRO, F.J.; PELAYO, E.; HERNÁNDEZ, F.; CABRERA, M. y GUIRAL, J. (2000), *Aves de Aragón. Atlas de Especies Nidificantes*, Zaragoza, Diputación General de Aragón-Ibercaja.
- SERRANO, F.J.; TORRIJO, A.; CANO, J.L.; LAGARES, J.L.; LIBEROS, C.; MARTÍN, M.A.; PUEYO, J.M.; ROSADO, F.; RUIZ, J. y SÁNCHEZ, J.A. (2001), «Atlas provisional de anfibios y reptiles de la provincia de Teruel», *Boletín de la Asociación Herpetológica Española*, 12(2), pp. 62-70.
- SIMÓN, J.L. (2004), «Superposed buckle folding in the eastern Iberian Chain, Spain», *Journal of Structural Geology*, 26, pp. 1447-1464.
- (2005), «Erosion-controlled geometry of buckle fold interference», *Geology*, 33, pp. 561-564.
- SIMÓN, J.L.; ARENAS, C.; ARLEGUI, L.; AURELL, M.; GISBERT, P.; GONZÁLEZ, A.; LIESA, C.; MELÉNDEZ, A.; MELÉNDEZ, G.; PARDO, G.; SORIA, A.R.; SORIA, M. y SORIANO, M.A. (1998), *Guía del Parque Geológico de Aliaga*, Zaragoza, Ayuntamiento de Aliaga-CEDEMATE-Dpto. de Geología de la Universidad de Zaragoza.
- ZAPATER, B. (1894), «Fauna entomológica turolense: catálogo de los lepidópteros que han sido cazados en el Valle de Valdecabriel por la señorita Clotilde de Catalán de Ocón», *Miscelánea Turolense*, 16, Teruel, Instituto de Estudios Turolenses, edición facsímil (1993).

Páginas web

- <http://www.aytoaliaga.com/> (*Ayuntamiento de Aliaga*).
- <http://www.comarcacuencasmineras.es/> (*Comarca de Cuencas Mineras*).
- <http://comunidad.deteruel.es/> (*Comarca Comunidad de Teruel*).
- <http://hercules.cedex.es/anuarioaforos/> (*Anuario de Aforos 2006-2007, CEDEX*).
- <http://www.ipe.csic.es/floragon/index.php> (*Herbario de Jaca*).

<http://www.javierblasco.arrakis.es/> (*Atlas de Identificación de las Aves de Aragón*).

<http://www.jolube.net/> (*Jolube Consultoría Ambiental*).

<http://plan.aragob.es/FBA.nsf> (*Fichero Bibliográfico Aragonés*).

<http://portal.aragon.es/portal/page/portal/MEDIOAMBIENTE/cclimatico/Actuacion/Atlas> (*Atlas Climático de Aragón*, Departamento de Medio Ambiente, Gobierno de Aragón; F. López Martín, M. Cabrera y J.M. Cuadrat, coords.).

<http://www.ucm.es/info/cif> (*Sistema de Clasificación Bioclimática Mundial*, Centro de Investigaciones Fitosociológicas, España).

<http://www.vertebradosibericos.org> (*Enciclopedia virtual de los vertebrados ibéricos*, Museo Nacional de Ciencias Naturales-CSIC).

Recibido el 15 de febrero de 2010

Aceptado el 19 de marzo de 2010



**CARACTERIZACIÓN PETROFÍSICA Y GEOQUÍMICA
DE VARIAS ROCAS TUROLENSES DE USOS
CONSTRUCTIVOS PARA LA OBTENCIÓN
DE ÍNDICES DE CALIDAD**



Óscar Buj Fandos, Pedro L. López Julián y Josep Gisbert Aguilar

CARACTERIZACIÓN PETROFÍSICA Y GEOQUÍMICA DE VARIAS ROCAS TUROLENSES DE USOS CONSTRUCTIVOS PARA LA OBTENCIÓN DE ÍNDICES DE CALIDAD*

*Óscar Buj Fandos** , Pedro L. López Julián*** y Josep Gisbert Aguilar*****

RESUMEN

Se ha realizado una caracterización petrofísica y geoquímica de cuatro variedades de piedra natural explotadas en la provincia de Teruel. Las rocas caracterizadas han sido una dolomía recristalizada explotada en el término municipal de Blancas, una caliza travertínica explotada en el término municipal de Villalba Baja y dos calizas recristalizadas explotadas en el término municipal de Villarluego.

Las características petrográficas y petrofísicas en estos materiales se han evaluado mediante la realización de diferentes ensayos según las normas UNE.

Los resultados de los ensayos petrofísicos y químicos ponen de manifiesto el notable valor industrial de estas rocas como materiales de usos constructivos. Así mismo, se ha elaborado un modelo para la predicción de la resistencia mecánica a flexión tras heladicidad en rocas carbonatadas en función de su sistema poroso y de sus características texturales.

Palabras clave: petrofísica, durabilidad, heladicidad, piedra de construcción, rocas carbonatadas.

* Resumen del trabajo realizado con una ayuda concedida por el Instituto de Estudios Turolenses en su XXIV Concurso de Ayudas a la Investigación de 2006.

** oscarbuj@unizar.es

*** pllopez@unizar.es

**** gisbert@unizar.es

ABSTRACT

Petrophysical and geochemical characterization of Natural Stone quarried in Teruel to obtain quality index.

A petrophysical and geochemical characterization of four types of natural stone exploited in the Province of Teruel has been done. The characterized rocks were a recrystallized dolomite exploited in Blancas, a travertine exploited in Villalba Baja and two recrystallized limestones exploited in Villarluengo.

The petrographic and petrophysical characteristics of these stones were evaluated by means of tests prescribed in UNE standards.

The results of the tests indicate that their petrophysical and geochemical characteristics afford these stones substantial industrial value as construction materials. A global model for the prediction of the flexural strength after freeze-thaw cycles has been developed. This global model depends on the pore network, but also on the textural characteristics of the stone.

Key words: petrophysics, durability, freeze-thaw, building stone, carbonated rock.

INTRODUCCIÓN

Teruel posee unas extraordinarias perspectivas en el sector de la piedra natural; sólo en Teruel hay más variedades de rocas que en Huesca y Zaragoza juntas y posee todos los tipos de rocas comercializadas en Aragón. La distribución de la población y su larga trayectoria de actividad en el sector primario y su situación equidistante de Valencia, Cataluña, Madrid y Navarra la configuran como una de las regiones de toda la Península que más podría crecer económicamente por la potenciación del sector de la piedra natural.

El término "piedra natural" engloba a todas aquellas rocas que son susceptibles de ser utilizadas como elemento constructivo (resistencia y durabilidad suficientes) y que, tras ser extraídas, pueden ser dimensionadas y sometidas a diversos tratamientos en su superficie, conservando su composición, textura y características físico-mecánicas y químicas.

En el trabajo aquí planteado, pretendemos explicar las variaciones mecánicas generadas en un mismo material tras la realización del ensayo de heladicidad, así como caracterizar los procesos de movilización de elementos químicos presentes en la roca por interacción con el agua. Estos elementos químicos se van a poder combinar posteriormente con otros que proceden tanto del medio ambiente atmosférico como del resto de materiales constructivos, y que a través del flujo de agua en las construcciones van a provocar distintos tipos de deterioro.

En trabajos previos de este grupo de investigación (GISBERT *et al.*, 2004) se ha comprobado que en ciertos materiales tiene lugar un aumento en la resistencia mecánica del material tras la realización del ensayo de heladicidad, si bien no existen estudios que expliquen claramente el porqué de este fenómeno.

Los ciclos de heladicidad modifican las propiedades tanto físicas como mecánicas de la piedra natural. Por lo tanto, es un ensayo adecuado para evaluar la durabilidad de las rocas utilizadas en zonas con elevada humedad y con temperaturas que oscilan por encima y por debajo de los 0 °C.

El tamaño crítico de poro para la durabilidad frente a los ciclos de heladicidad es de 0,005 mm. Aquellas rocas con tamaño medio de poro superior a esta cifra presentarán un mejor comportamiento frente a este tipo de alteración (BELL, 1993).

Los mecanismos de la cristalización del hielo han sido investigados durante décadas. La presión máxima que puede ejercer el agua al cristalizar es de 200 N/mm² (WINKLER, 1968) a -22 °C (este valor fue calculado teóricamente utilizando un diagrama temperatura-presión-volumen. Ese punto coincide con el punto triple en el cual el hielo tiene una densidad de 0,948 y pasa a agua densa con densidad de 1,086 o a hielo de alta densidad 1,11459). Este valor es bastante mayor que la resistencia a tracción de la piedra natural. Las dos principales teorías que pretenden explicar el deterioro por heladicidad son:

A) EVERETT (1961) propone la teoría "capillary pressure model". Según esta teoría, en los poros de grandes dimensiones existe espacio suficiente para alojar el volumen de hielo y acumular agua en estado líquido sin generar presiones. Sin embargo, cuando dos poros grandes, uno con hielo y otro con agua, están conectados por un capilar se originan presiones en el material y si estas exceden la resistencia del material se produce la rotura del mismo. El exceso de presión que se generará en el poro con radio R conectado a una fuente de agua por un capilar con radio r es proporcional a $(1/r - 1/R)$. Este exceso de presión puede llegar a generar la rotura de la roca.

B) SCHERER (1999) propone la teoría "linear growth pressure". Esta teoría se basa en la existencia de una delgada película de agua entre el cristal de hielo en crecimiento y la superficie del poro. La fuerza que conduce el desarrollo de este proceso es la tasa de subenfriamiento.

La caracterización geoquímica de las rocas estudiadas se ha realizado con la finalidad de determinar la alterabilidad química de las rocas, parámetro que tiene una influencia decisiva en los procesos de alteración en obras de nuestro patrimonio. Para ello, se ha realizado una serie de análisis en laboratorio de elementos mayores y menores, que servirán de punto de partida para la determinación del índice de alterabilidad química. El desarrollo de esta metodología permitirá conocer la contribución de la propia composición de las rocas al proceso de deterioro por cristalización de sales en edificaciones, con un doble interés aplicado: a) el tratamiento de problemas de deterioro salino en edificios históricos; b) la asignación de un índice de calidad a las rocas para su uso en construcciones futuras.

SITUACIÓN GEOLÓGICA Y CARACTERÍSTICAS DE LAS EXPLOTACIONES

Las cuatro rocas caracterizadas son carbonatos recristalizados y están explotadas como piedra natural en formaciones de la Cordillera Ibérica (fig. 1) en los términos municipales de Blancas, Villarluengo y Villalba Baja.

El travertino terciario de Villalba Baja (Tr) se explota en la cantera "Monteagudo" (fig. 2) ubicada en la zona central de la hoja 567 (Teruel) del Mapa Geológico Nacional, escala 1:50.000. La cantera se

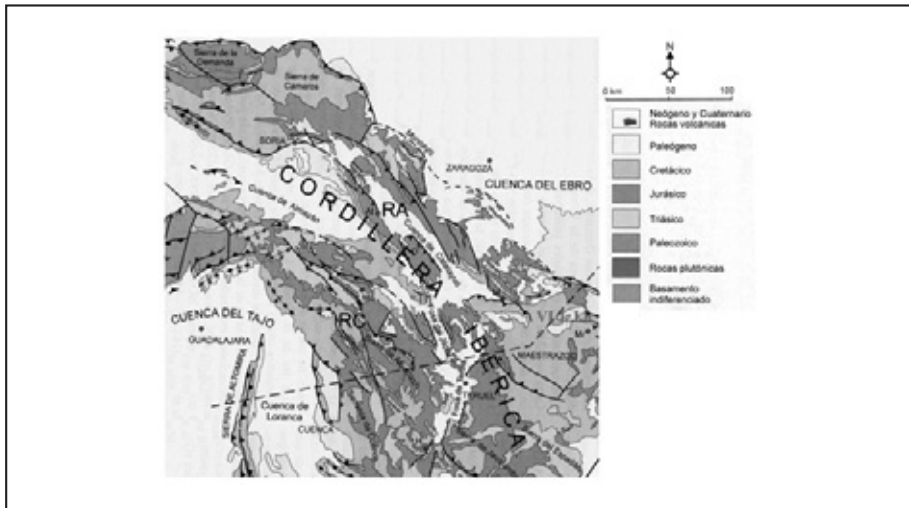


Fig. 1. Mapa geológico de la Cordillera Ibérica con la ubicación de las explotaciones (modificado de VERA (ed.), 2004). RA (Rama Aragonesa), RC (Rama Castellana).

ubica en calizas travertínicas de edad Mioceno inferior, de color crema claro, oquerosas, porosas y coherentes, dispuestas en bancos horizontales muy potentes (hasta 8-10 m) pero lateralmente discontinuos, donde pasan en transición a yesos y margas. Se extraen en bloques de 2,5x1,5x1,5 m.

El Crema Maestrazgo (VI-I) y la Lumaquela (Lu) se explotan en la cantera “Muela Carrascosa” (fig. 3) ubicada en el término municipal de Villarluengo (Teruel), en el límite SW de la hoja 519 (Aguaviva) del Mapa Geológico Nacional, escala 1:50.000. La cantera se ubica en la formación Órganos de Montoro. En esta formación se pueden observar tres términos diferentes. En el primero aparecen 50 metros de calizas de tonos grises o blancuzcos dispuestas en estratos de espesor centimétrico a decimétrico. La serie continúa con 20-25 metros de calizas grises, con pseudomorfos de yesos y huellas de desecación. Finalmente, la serie termina con unos 5-10 metros de alternancia de margas. Los bancos de caliza explotados son masivos y subhorizontales, alcanzan potencias de hasta 6-7 metros y permiten el desarrollo de grandes frentes. En el mismo yacimiento aparecen diferentes subtramos en los que se explotan distintas variedades comerciales.

El Blancas Jaspe (Bl) se explota en la cantera “El Sabinar” (fig. 4), ubicada en el término municipal de Blancas (Teruel), en la zona SW de la hoja 491 (Calamocha) del Mapa Geológico Nacional. La cantera se ubica en la formación Dolomías del Barranco de los Degollados. Esta formación está compuesta por una sucesión de dolomías ocre y grises, de grano fino y en pequeños bancos hacia la base y de grano más grueso y masivas hacia la parte alta. Se interpretan como depósitos de plataforma carbonatada que pasa de abierta a restringida. Los materiales explotados se localizan en las proximidades de la fosa del Jiloca en la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica. Las capas se orientan según una



Fig. 2. a: Aspecto general de la cantera "Monteagudo". b: Sistema de corte en la cantera mediante hilo diamantado.



Fig. 3. a: Aspecto general de la explotación "Muela Carrascosa". b: Frente de cantera de 15 m de potencia.

dirección N-S y presentan un buzamiento suave de 12° . Esta disposición es favorable para la extracción por bancos separados por la superficie de estratificación. En la explotación se diferencian 3 bancos principales. De muro a techo: banco de 2,2 m de espesor de dolomías beige tableadas con abundantes fósiles y presencia de ooides. El intermedio es un nivel de 0,5 m de dolomía beige blanquecina con intensa bioturbación, y el banco superior es un estrato de 5 m de dolomía blanquecina en el que disminuye el grado de bioturbación respecto al banco intermedio. Los tres niveles aparecen fracturados y con intercalaciones margosas milimétricas y centimétricas. El frente de cantera presenta un desarrollo longitudinal de aproximadamente 200 m y la morfología del terreno condiciona la explotabilidad, quedando el área canterable limitada al E y W por dos barrancos de incisión lineal.

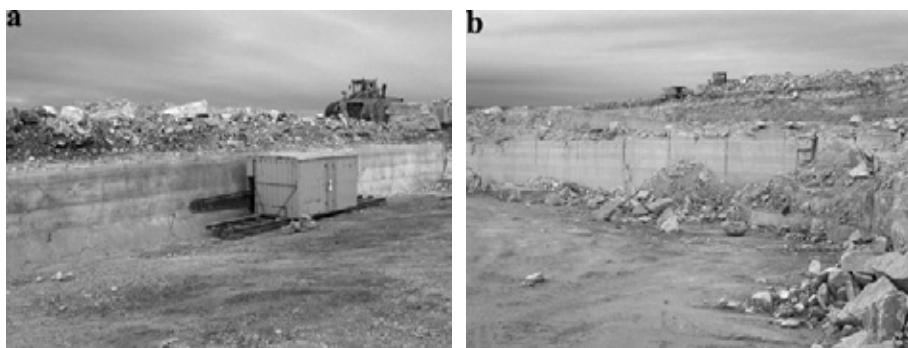


Fig. 4. a: Sistema de corte mediante serrucho en la cantera “El Sabinar”. b: Frente de cantera, en el que se observan los tres bancos explotados.

PARTE EXPERIMENTAL

En las tres canteras se efectuó un muestreo representativo en los frentes activos de las explotaciones. A partir de bloques convenientemente siglados y orientados en campo, se tallaron las probetas para la realización de los diferentes ensayos.

La caracterización petrográfica (UNE-EN 12407:2001) se ha realizado mediante el estudio de varias láminas delgadas y delgado-pulidas. El equipo utilizado ha sido un microscopio óptico polarizante de luz transmitida modelo CARL ZEISS JENA-POL. Las láminas delgadas y delgado-pulidas han sido elaboradas en el Servicio de Apoyo a la Investigación (S.A.I.) de preparación de rocas y materiales duros de la Universidad de Zaragoza.

La caracterización química se ha realizado mediante:

- Pérdidas al fuego: esta determinación ha permitido estimar los porcentajes del H₂O total en muestra, materia orgánica y carbonato mediante el cálculo de la pérdida en peso por ignición (DEAN, 1974) tras calentamientos escalonados a 200, 500 y 900 °C, respectivamente.
- Análisis químicos de la fracción soluble en ácido: tras un machaqueo inicial de la muestra, se tomaron 250 mg y se sometieron a ataque ácido, en 100 ml de disolución de HCl 0,8N, durante 2 horas, con agitación continua y a una temperatura de 65 ± 5 °C. Tras esta fase de ataque, la solución se filtró y analizó el contenido en Ca, Mg, Na, K. Por su parte, se determinó igualmente la proporción de material sólido que no fue solubilizado durante este ataque, es decir, el residuo insoluble (RI).
- Análisis químicos mediante un experimento de lixiviación con agua destilada para estimar de este modo la capacidad de movilización de elementos químicos en condiciones similares a las existentes en el medio natural: para ello, de la muestra de roca machacada se tomaron en esta ocasión 20 gr. los cuales se sumergieron en 100 ml de agua destilada durante 24 horas, con agita-

ción continua y a temperatura ambiente (20 ± 5 °C). Tras dicho periodo temporal, se filtró la solución y se realizó el análisis del contenido en Ca, Mg, Na, K, SO_4 , Cl, e igualmente se determinó la alcalinidad (que en estas condiciones experimentales corresponderá prácticamente a la alcalinidad carbonatada). Estas determinaciones se han realizado en el laboratorio del Área de Petrología y Geoquímica del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza.

La caracterización física y mecánica se ha realizado siguiendo las recomendaciones de las normas UNE. Los ensayos físicos realizados han sido la determinación de la absorción de agua a presión atmosférica (UNE-EN 13755: 2002) y la determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad (UNE-EN 1925:1999). Los ensayos realizados de cada tipo litológico se han efectuado sobre tandas de 6 probetas extraídas de un mismo bloque de dimensiones 70x70x70 mm. Además, se ha realizado una valoración estadística de los resultados de los ensayos con el objetivo de valorar las posibles heterogeneidades y anisotropías del material.

El ensayo mecánico realizado ha sido la determinación de la resistencia a la flexión bajo carga concentrada (UNE-EN 12372:1999) antes y después del ensayo de heladicidad (UNE 67-028-97-EX). Los ensayos se han realizado sobre tandas de 6 probetas de 60x30x180 mm cumpliendo la norma que establece que las probetas deben presentar un espesor h comprendido entre 25 y 100 mm, superior al doble del tamaño de grano mayor de la roca, con longitud de $6h$ y anchura comprendida entre 50 mm y $3h$. Los ensayos mecánicos de resistencia a flexión se han realizado mediante la prensa modelo Controls Multiensayo, célula de carga PCI.

Para cada tipo de roca se han realizado ensayos en tres direcciones diferentes (fig. 5):

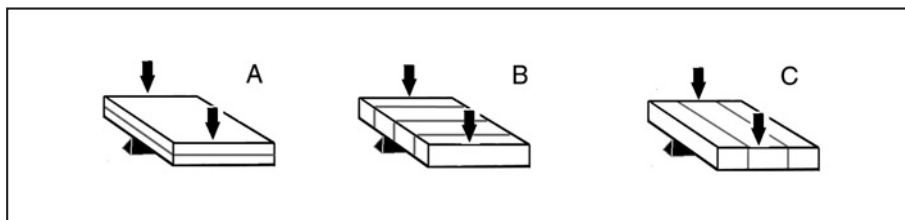


Fig. 5. Orientación de las probetas en el ensayo de flexión. A: esfuerzo aplicado perpendicular a la estratificación, B: esfuerzo aplicado paralelo a la estratificación (lado corto) y C: esfuerzo aplicado paralelo a la estratificación (lado largo).

La durabilidad de estas rocas se ha evaluado mediante la realización de 25 ciclos de heladicidad con la cámara frigorífica con circulación de aire DYCOMETAL, modelo CHD -525, constando cada uno de ellos de dos etapas:

- Inmersión de las probetas durante 2 horas en agua destilada.
- Introducción de las probetas en cámara climática a -10 °C durante 4 horas.

A la conclusión del último ciclo las probetas fueron secadas en una estufa a 105 °C y enfriadas en un desecador hasta masa constante a temperatura de 20 °C y humedad del 10 ±5%. Se decidió usar la cámara climática automática homologada según la norma UNE 67028 EX porque nos permitió realizar los 25 ciclos del ensayo sin manipulación de las probetas manteniendo unos rangos de temperatura similares a los indicados por la norma UNE para piedra natural, con el objetivo de evaluar la variación en la resistencia mecánica del material tras heladicidad (método más relevante para evaluar los efectos del hielo sobre el material).

RESULTADOS

CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA

Travertino terciario de Villalba Baja (Tr)

Macroscópicamente la roca tiene un aspecto masivo, cristalino, oqueroso de color naranja muy pálido (Munsell: 10YR 8/2) y de grano fino. Es una roca muy poco homogénea como consecuencia de la distribución aleatoria de sus macroporos de hasta 2 cm de diámetro. No presenta discontinuidades abiertas importantes.

Petrográficamente se describe como una caliza travertínica recristalizada de composición calcítica en su totalidad, clasificada como un Sparstone (WRIGHT, 1992).

La roca posee una textura cristalina compuesta por cristales subidiomorfos inequigranulares de calcita microesparítica (60%) de 15 micras de tamaño medio con contactos predominantemente de tipo planar y calcita esparítica (15%). La calcita esparítica se caracteriza por presentar sus bordes cristalinos irregulares y una distribución aleatoria de su tamaño de grano, siendo el tamaño medio de 50-60 micras. Los cristales de calcita de mayor tamaño se encuentran tapizando la porosidad secundaria. Se reconocen relictos de bioclastos de 0,3 mm de tamaño medio flotando en los mosaicos esparíticos y microesparíticos.

La roca presenta una porosidad elevada (25%), con un amplio rango de tamaños de poro. No existe un tamaño de poro predominante y los tamaños máximos son de 5-6 mm (fig. 6).

Crema Maestrazgo (VI-I)

Macroscópicamente la roca tiene un aspecto masivo y cristalino de color gris amarillento pálido (Munsell: 5Y 9/1). Es una roca muy homogénea, con poros abiertos de hasta 3 mm de diámetro y coherente. Las principales discontinuidades que presenta son pequeñas fracturas submilimétricas.

Petrográficamente, se describe como una caliza recristalizada de composición calcítica en su totalidad, clasificada como un Sparstone (WRIGHT, 1992).

La roca posee una textura cristalina, compuesta por cristales subidiomorfos inequigranulares de calcita microesparítica (45%) de tamaño medio (25 micras) y de calcita esparítica (50%) en la que se

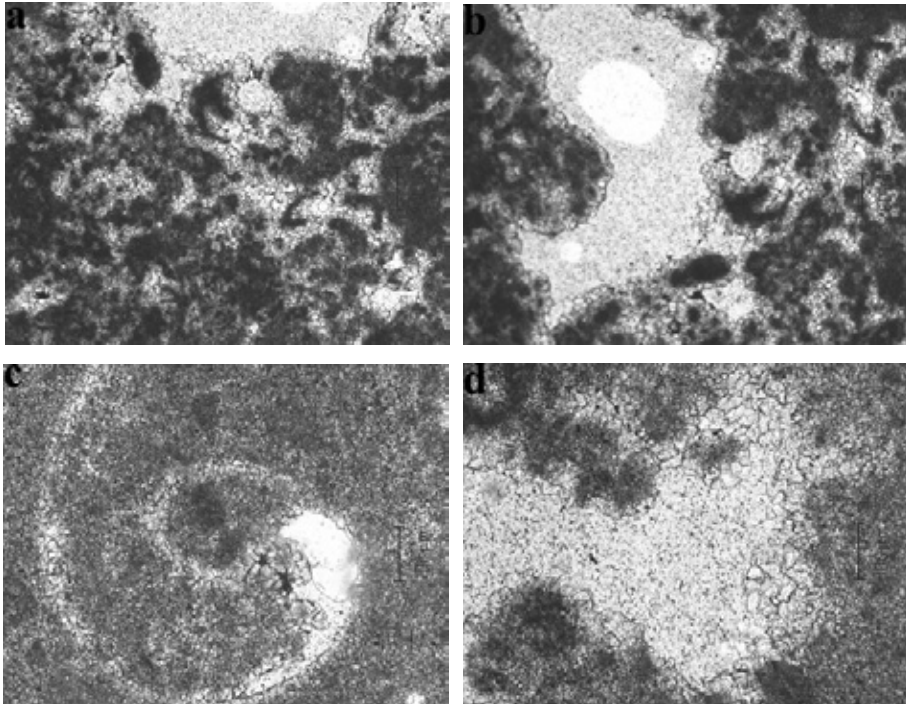


Fig. 6. a (N.P)-b (N.P) (x4): Aspecto general de la roca, textura cristalina. Cristales subidiomorfos de calcita microesparítica. Amplio rango de tamaños de poro. c (N.Px10): Microesparita calcítica en mosaico de cristales subhedrales inequigranulares con relictos de bioclastos. d (N.Px10): Calcita esparítica en el contorno de la porosidad secundaria. Escala: 100 micras.

identifican restos de la textura primaria. El tamaño medio de la esparita es de 0,2 mm, los cristales son predominantemente subhedrales y el límite entre los cristales es, en su mayoría, de tipo recto y curvo. Los opacos son escasos (menos de 1%).

La porosidad de la roca es del 5%, presentando un amplio rango de tamaños de poro, desde unas micras hasta varios milímetros y con un diámetro medio de 1 mm (fig. 7).

Blancas Jaspe (Bl)

Macroscópicamente la roca tiene un aspecto masivo, tamaño de grano fino y color heterogéneo. La matriz presenta tonos marrones amarillentos (10YR 8/4) y las galerías de bioturbación presentan un color marrón amarillento pálido (10YR 6/2). Como discontinuidades principales aparecen grietas abiertas. Presenta geodas rellenas por calcita esparítica de hasta 0,8 cm de longitud y poros abiertos de hasta 1 cm.

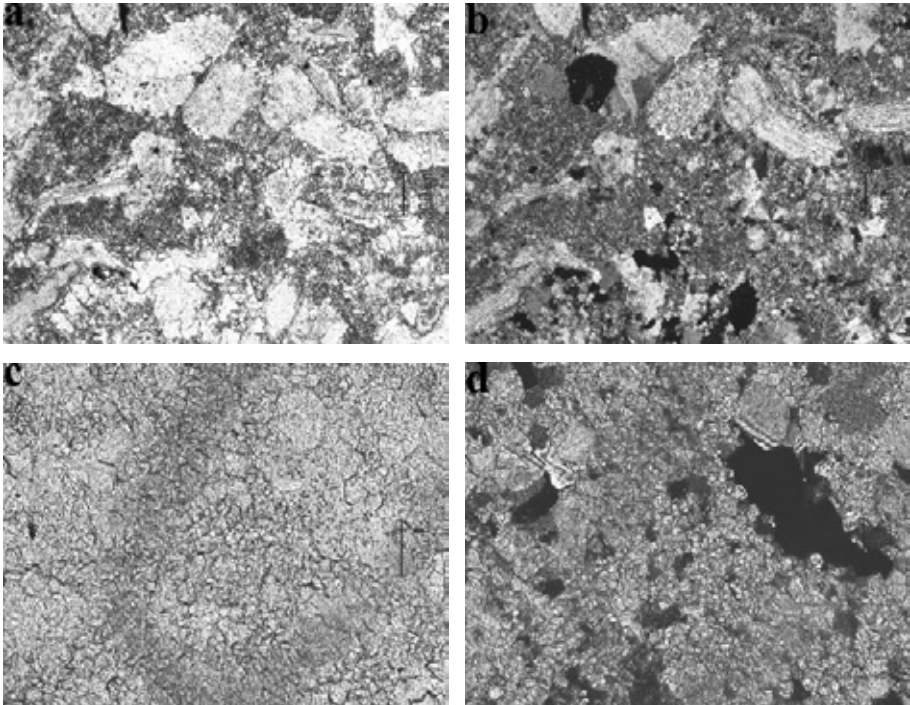


Fig. 7. a (N.P)-b (N.C) (x4): Aspecto general de la roca, textura cristalina. Se observan cristales heterométricos de microesparita y esparita, ambas calcíticas. Escala 200 micras. c (N.P)-d (N.C) (x20): Detalle de la porosidad abierta de la roca y de la microesparita calcítica formando un mosaico de cristales subidiomorfos inequigranulares. Escala: 50 micras.

Petrográficamente, se define como un Doloesparstone (WRIGHT, 1992). Se trata de una roca carbonatada recristalizada y parcialmente dolomitizada.

En la roca se observan como texturas relictas fantasmas de bioclastos (conchas de ostrácodos de 1 mm de tamaño medio, 8%), puestas de manifiesto por la heterometría de los cristales de dolomita. La roca presenta un aspecto masivo, compuesto principalmente por cristales de dolomita micrítica de 2 micras de tamaño medio (74,2%) y por cristales hipidiomorfos de dolomita microesparítica (9,3%) de 25 micras de tamaño medio. Estos cristales de dolomita de mayor tamaño se encuentran homogéneamente repartidos en la lámina y se sitúan rellenando pequeños poros, bordeando poros mayores o en el interior de la calcita esparítica.

La calcita esparítica inequigranular (9,2%) está constituida por cristales de grandes dimensiones de tamaño medio de 250 micras y tamaño máximo de hasta 1 mm, que se disponen bordeando y/o tapizando parte de la porosidad secundaria de la roca. Los contactos entre los cristales de la calcita esparítica son planares y curvos. Los poros de esta roca (7,3%) presentan un tamaño medio de 50-60 micras (fig. 8).

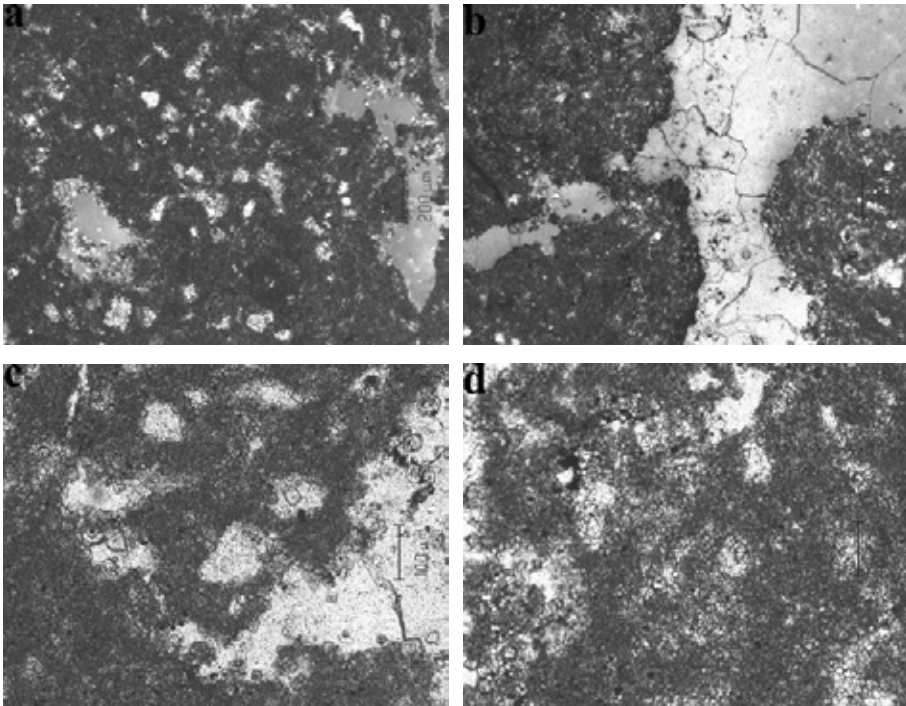


Fig. 8. a (N.P)-b (N.P) (x4): Aspecto general de la roca, fotografías con tinción. Mosaico de cristales de dolomicrita y microesparita dolomítica. En la porosidad se localizan mosaicos de calcita esparítica. c (N.P)-d (N.P) (x10): Dolomicrita, microesparita dolomítica (en los bordes de los poros) y mosaicos esparíticos de calcita en la porosidad secundaria. Escala: 100 micras.

Lumaquela (Lu)

Macroscópicamente la roca tiene un aspecto masivo, microcristalino, y es de color blanco (Munsell: N9). Es una roca relativamente homogénea, macroporosa, con poros abiertos de hasta 0,5 cm de diámetro y coherente. Presenta fósiles recristalizados de mineralogía calcítica de hasta 1 cm de longitud.

Petrográficamente, se describe como una caliza recristalizada de composición calcítica en su totalidad, clasificada como un Sparstone (WRIGHT, 1992). En esta roca se conservan grandes fragmentos de ostrácodos y bivalvos como relictos de la textura original.

La roca posee una textura cristalina, compuesta por micrita recristalizada (30%), cristales subidiomorfos inequigranulares de calcita microesparítica (20%) de tamaño medio de 8 micras y cemento de calcita esparítica (10%) con tamaño medio de 150 micras. El contacto predominante entre los cristales de microesparita y esparita es de tipo recto y curvo. Se identifican abundantes morfolo-

gías de los bioclastos primarios (40%) y localmente se identifican texturas primarias de tipo Packstone. Los opacos son escasos (menos de 1%).

La porosidad de la roca es elevada (15%) y presenta un amplio rango de tamaños de poro, desde unas micras hasta varios milímetros, y con un diámetro medio de 1,2 mm. Dicha porosidad se localiza en posición intercrystalina (fig. 9).

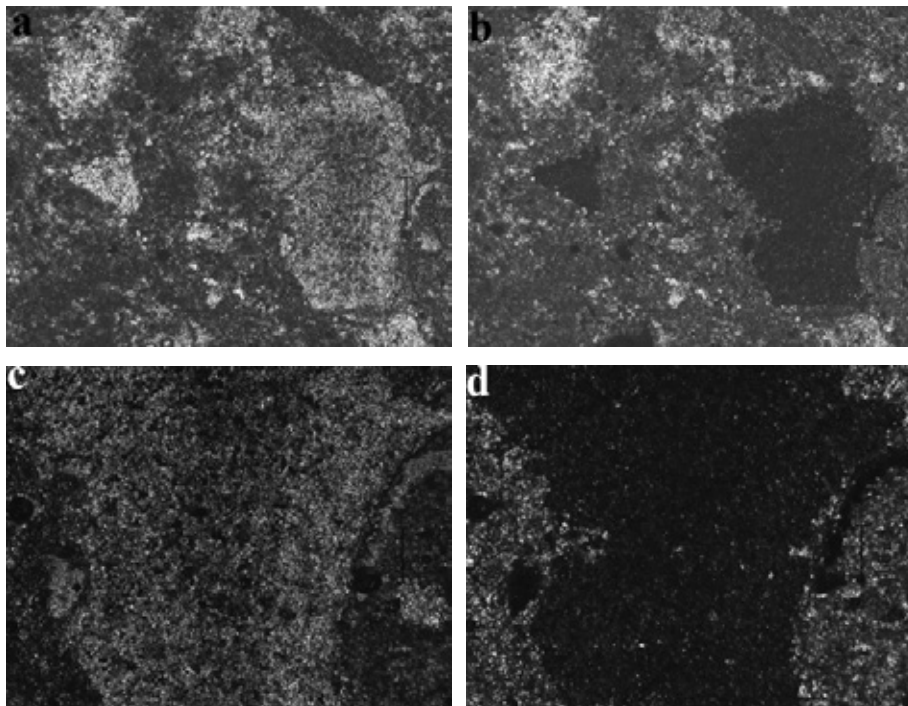


Fig. 9. a (N.P)-b (N.C) (x4): Aspecto general de la roca, textura cristalina. Se observan poros con diferente tamaño y cristales heterométricos de microesparita y esparita, ambas calcíticas. Escala 200 micras. c (N.P)-d (N.C) (x10): Cemento de calcita esparítica syntaxial. Escala: 100 micras.

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

La realización de la caracterización química según los protocolos experimentales descritos en la metodología ha permitido obtener un conjunto de valores analíticos, que se resumen en la tabla 1.

Con el objetivo de conseguir un modelo global del comportamiento de la piedra natural se han utilizado, además de estas 4 rocas carbonatadas recristalizadas, las siguientes rocas (tabla 2): Un- Li-

TABLA 1

Resultados de la caracterización química en las 4 rocas caracterizadas

MUESTRA	% H ₂ O	% M.O.	% CO ₂	% CaO	% MgO	% K ₂ O	% Na ₂ O	% R.I.	TOTAL
Tr	0,20	0,18	43,48	55,14	0,13	0,00	0,10	1,41	100,65
VI-I	0,11	0,11	43,69	55,42	0,11	0,01	0,15	0,84	100,43
Bl	0,25	1,91	44,15	30,51	18,26	0,05	0,13	3,08	98,33
Lu	0,11	0,11	43,71	55,45	0,11	0,04	0,14	0,80	100,47

TABLA 2

Resultados de la caracterización química

MUESTRA	% H ₂ O	% M.O.	% CO ₂	% CaO	% MgO	% K ₂ O	% Na ₂ O	% R.I.	TOTAL
Un	0,46	1,31	19,36	24,04	0,41	0,13	0,12	51,77	97,60
Ig	0,18	0,41	43,12	54,31	0,37	0,02	0,19	1,76	100,36
Pm	0,22	0,87	41,95	52,43	0,68	0,07	0,15	3,30	99,66
Nil	0,43	0,97	42,02	52,67	0,56	0,08	0,17	2,05	98,96
Ca	0,30	0,85	40,44	50,64	0,55	0,05	0,14	6,02	98,99

toarenita-Sedarenita, Ig- Grainstone bioclástico, Pm- Wackstone bioclástico, Nil- Wackstone bioclástico y Ca- Packstone de peloides y pelecípodos.

Estos datos van a ser utilizados para referir los resultados obtenidos en las extracciones realizadas con agua destilada. Los análisis de estos extractos han arrojado los siguientes resultados, expresados en ppm (partes por millón, unidad equivalente a mg/l en solución). En las muestras en las que se ha realizado más de una extracción hemos procedido a calcular, para cada elemento químico analizado, su valor promedio y la desviación estándar (tabla 3).

Finalmente, los valores promedio de la tabla anterior se han convertido a miliequivalentes para poder así obtener unas representaciones gráficas más fácilmente interpretables y comparar los valores relativos a cada elemento químico analizado. Los valores expresados se recogen en la tabla 4, en la que también se recoge el valor correspondiente a la suma total de miliequivalentes extraídos.

TABLA 3

Resultados de los extractos expresados en ppm

MUESTRA	VARIABLE	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	K	Na
Un	Promedio	458,46	73,04	171,36	123,03	8,99	92,25	96,38
	Desv. est.	88,55	6,95	10,73	10,13	2,76	5,49	4,90
Bl	Promedio	667,31	76,80	131,33	40,68	140,96	71,12	21,12
	Desv. est.	89,53	13,36	0,72	5,05	0,21	12,54	3,53
Ig	Promedio	221,35	14,91	97,27	79,40	9,46	24,08	13,19
	Desv. est.	97,76	9,52	18,22	27,99	3,11	5,29	0,44
Pm	Promedio	398,51	38,02	189,98	165,05	15,96	50,79	19,13
	Desv. est.	88,93	6,27	19,21	17,44	4,25	7,59	2,64
Lu	Promedio	215,00	13,53	96,22	98,51	3,14	1,18	6,38
	Desv. est.	13,32	7,23	14,86	11,75	1,49	1,05	9,03
Nil	Promedio	378,03	117,61	354,55	162,78	24,00	48,52	108,46
	Desv. est.	55,10	13,17	41,11	15,81	2,45	3,17	9,84
VI-I	Promedio	205,68	8,44	114,38	100,64	1,99	2,66	11,69
	Desv. est.	12,42	5,67	9,87	3,82	0,31	0,96	1,66
Ca	Promedio	323,25	108,04	260,71	174,49	18,87	38,65	57,93
	Desv. est.	69,71	12,79	37,69	29,58	2,93	5,38	13,13

TABLA 4

Valores promedio expresados en miliequivalentes

MUESTRA	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	K	Na	MEQ TOTALES
Un	7,51	2,06	3,57	6,14	0,71	2,36	4,19	25,55
Bl	10,94	2,17	2,73	2,03	11,10	1,82	0,92	29,78
Ig	3,63	0,42	2,02	3,96	0,74	0,61	0,57	12,15
Pm	6,53	1,07	3,95	8,23	1,26	1,30	0,83	22,49
Lu	3,52	0,38	2,00	4,91	0,25	0,03	0,27	14,31
Nil	6,19	3,32	7,38	8,12	1,89	1,24	4,72	31,71
VI-I	3,37	0,24	2,38	5,02	0,16	0,07	0,50	14,55
Ca	5,30	3,05	5,43	8,70	1,49	0,99	2,52	24,85

CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA

Las rocas caracterizadas presentan una porosidad media-alta. Los valores más elevados de porosidad (15,12%) y del coeficiente de absorción capilar ($36,56 \text{ g/m}^2\text{s}^{-0.5}$) corresponden a la roca Lu. Las rocas Tr y VI-I presentan los valores más reducidos para estos coeficientes, mientras que la roca Bl presenta unos valores intermedios, con una porosidad del (9,3%) y un coeficiente de absorción capilar de ($27,85 \text{ g/m}^2\text{s}^{-0.5}$). Los resultados de los ensayos hidricos se resumen en las tablas 5 y 6.

TABLA 5

Resultados de los ensayos de absorción W (%), densidad aparente ρ_b (Kg/m^3) densidad real método de la pesada hidrostática ρ_{rph} (Kg/m^3) y porosidad abierta P_0 (%)

	CONTENIDO EN HUMEDAD					
	W(%)	DESV. TÍPICA	COEF. VARIACIÓN	ρ_b (Kg/m^3)	ρ_{rph} (Kg/m^3),	P_0 (%)
Tr	1,66	0,122	0,073	2462,49	2563	4,09
VI-I	1,87	0,278	0,148	2417,09	2537,04	4,51
Bl	3,83	1,513	0,395	2454,49	2720,67	9,3
Lu	7,41	0,297	0,176	2034,11	2454,51	15,12

TABLA 6

Valores de absorción capilar A.C. (g/m^2) y coeficiente de absorción capilar C.A.C. ($\text{g/m}^2\text{s}^{-0.5}$)

	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN CAPILAR			
	C.A.C.	DESV. TÍPICA	COEF. VAR.	A.C.
Tr	8,47	6,147	0,726	460,04
VI-I	16,43	5,714	0,348	3151,09
Bl	27,85	6,847	0,246	5956,8
Lu	36,56	1,249	0,06	6744,02

Los resultados de los ensayos mecánicos se muestran en la tabla 7. Los ensayos de flexión y flexión tras heladicidad se han realizado sobre probetas con diferentes orientaciones respecto a la estratificación de la roca. Con los resultados obtenidos se ha realizado un análisis de la varianza (Anova). El objeto de este análisis ha sido valorar si las posibles diferencias mecánicas existentes en función de la orientación de la probeta durante la realización de los ensayos son debidas a la anisotropía del material o a su propia variabilidad.

TABLA 7

Resultados del ensayo de resistencia mecánica a flexión antes y después de heladicidad (MPa) y del análisis de la varianza Anova

	FLEXIÓN ORIENTACIÓN A	FLEXIÓN ORIENTACIÓN B	FLEXIÓN ORIENTACIÓN C	VALORES DE H_0
Tr (antes heladicidad)	9,52±1,14	10,23±1,11	10,43±0,68	0,28 (Isótropo)
Tr (tras heladicidad)	10,74±0,75	10,70±0,56	10,76±1,33	0,99 (Isótropo)
VI-I (antes heladicidad)	9,55±0,91	10,12±1,72	10,32±1,32	0,51 (Isótropo)
VI-I (tras heladicidad)	7,55±0,64	6,66±1,18	8,59±0,95	0,01 (Anisótropo)
Bl (antes heladicidad)	8,80±0,89	8,63±0,91	8,86±1,30	0,98 (Isótropo)
Bl (tras heladicidad)	9,98±1,79	7,61±0,96	9,39±0,66	0,12 (Isótropo)
Lu (antes heladicidad)	6,86±0,51			
Lu (tras heladicidad)	5,4±1,42			

El análisis de la varianza (Anova) ha sido aplicado para ensayar la hipótesis nula suponiendo un 95% como nivel de confianza. Cuando se rechaza H_0 es porque el Anova indica que existen subconjuntos de muestras con comportamiento diferente (probabilidad H_0 inferior a 0,05) para la propiedad física que se está midiendo. Estos resultados (tabla 7) indican que las rocas caracterizadas presentan un comportamiento isótropo antes de someter las probetas al ensayo de heladicidad y únicamente VI-I presenta un comportamiento anisótropo tras su realización.

Los resultados del ensayo de resistencia mecánica a flexión antes de heladicidad son similares para las rocas VI-I, Bl y Tr, estando comprendidos entre 8,80 y 9,55 MPa, mientras que el valor de resistencia a flexión para Lu es de 6,86 MPa.

Los ensayos de flexión realizados tras heladicidad han supuesto un aumento en la resistencia mecánica en Bl y Tr respecto al material ensayado antes de heladicidad.

La evaluación de la durabilidad de estos materiales se ha realizado mediante la valoración de los cambios que tienen lugar en la resistencia mecánica a flexión antes y después de los ciclos de heladicidad, siguiendo las recomendaciones de la norma UNE-EN 12372. Este ensayo permite valorar si el valor residual de resistencia obtenido para un tipo litológico determinado es el adecuado para cumplir las sollicitaciones mecánicas que le son requeridas tras su puesta en obra. Este es un criterio objetivo para la aceptación o rechazo de un material para su uso en exteriores en zonas relativamente húmedas y frías.

Se ha elaborado un modelo global de predicción de la resistencia a flexión tras heladicidad para rocas carbonatadas siguiendo las recomendaciones de YAVUZ (2006). Para la consecución de este modelo global se han utilizado, además de las rocas carbonatadas recristalizadas que se han caracterizado, otras rocas carbonatadas aragonesas (GISBERT *et al.*, 2004).

Para predecir la resistencia mecánica a flexión tras heladicidad se ha realizado un análisis de regresión múltiple. Este análisis es una técnica que consiste en estimar una variable dependiente (variable que se predice o calcula, cuya representación es Y), en nuestro caso resistencia mecánica a flexión tras heladicidad, utilizando dos o más variables independientes (son las variables que proporciona las bases para el cálculo, cuya representación es X_1, X_2, X_3, \dots), en este caso el valor inicial de la resistencia a flexión y la porosidad. Los análisis de regresión múltiple se aplican con el objetivo de obtener modelos de comportamiento global. Este tipo de análisis son especialmente útiles en geología, ya que en la mayoría de procesos intervienen diferentes factores, los cuales son imposibles de aislar y estudiar por separado (DAVIS, 1973).

La fórmula utilizada para la obtención de la resistencia a flexión del material tras heladicidad es:

$$Rf_{th} = B_0 + B_1 Rf + B_2 P_0$$

donde Rf_{th} es el valor predicho de resistencia a flexión tras heladicidad, B_0 es una constante calculada mediante el análisis de regresión múltiple, B_1 es el coeficiente de regresión de Rf , Rf es el valor inicial de resistencia a flexión, B_2 es el coeficiente de regresión de P_0 y P_0 es la porosidad de la roca fresca.

Los resultados obtenidos indican la obtención de valores satisfactorios de correlación entre resistencia mecánica a flexión real y predicha para las rocas recristalizadas y bioesparitas, con un índice de correlación de 0,96 y 0,94, respectivamente (fig. 10). Por el contrario, los resultados obtenidos para las biomicritas indican la existencia de otros parámetros que afectan a esta propiedad.

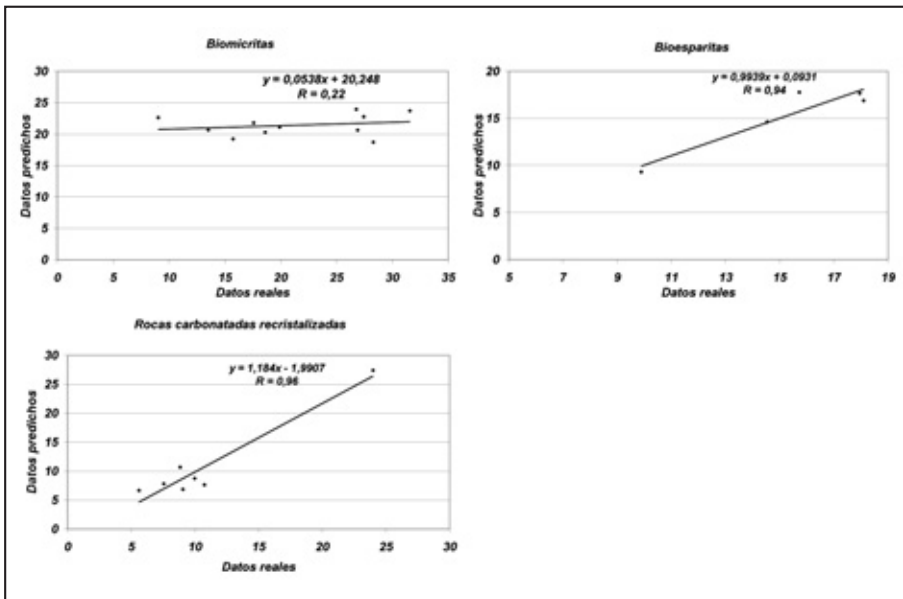


Fig. 10. Resistencia mecánica a flexión real y estimada tras la realización de 25 ciclos de heladicidad.

DISCUSIÓN

CARACTERIZACIÓN PETROFÍSICA

La acción de los ciclos de hielo-deshielo sobre la piedra natural induce una teórica degradación que afecta en mayor o menor medida a su vida útil, por el aumento de un 9% en volumen por congelación del agua líquida a temperaturas inferiores a 0 °C. Este aumento de volumen genera una serie de tensiones en el interior del material pétreo que desencadenan la aparición de fisuras, que pueden ocasionar la rotura del material cuando la presión ejercida por el hielo supera su resistencia a tracción o bien la disminución de sus propiedades mecánicas. La repetición cíclica de este proceso origina una fatiga que afecta al material tras su puesta en obra.

Los resultados obtenidos en esta investigación, junto con los resultados propios de trabajos previos, ponen de manifiesto que las rocas carbonatadas recristalizadas presentan un comportamiento variable respecto al ensayo de heladicidad, siendo no heladizas las rocas de composición dolomítica y las calizas travertínicas macroporosas. Por el contrario, son heladizas los carbonatos calcíticos recristalizados no macroporosos como VI-I y Lu. Estas rocas presentan una pérdida de resistencia mecánica superior al 20% respecto al material inalterado.

El aumento de la resistencia a flexión que se produce en algunas rocas tras ser sometidas al ensayo de heladicidad es consecuencia del aumento de volumen del hielo que puede generar una deformación elástica en la roca pero sin llegar a inducir microfracturación. Esta deformación elástica tiene lugar en el estadio de congelación de la probeta en los diferentes ciclos del ensayo. Así, la energía elástica acumulada contrarrestaría parte del esfuerzo mecánico externo necesario para producir la rotura del material y sería necesario añadir a la resistencia mecánica de la roca ese sobreesfuerzo de energía elástica acumulada. Esta interpretación estaría de acuerdo con los resultados de RUEDRICH y SIEGSMUND (2006). Estos autores indican que en rocas que no presentan visualmente ninguna alteración tras varios ciclos de heladicidad se han medido variaciones de longitud en la probeta a lo largo del ensayo, aunque la longitud final de la misma se mantiene estable.

Por su lado, GONZÁLEZ-MESONES (2008) indica que durante los ciclos de heladicidad puede existir el desarrollo simultáneo de fenómenos de cementación hidráulica de algunos de los componentes mineralógicos de la roca, debido a la presencia de agua durante la saturación de la piedra, y del CO₂ del aire durante la congelación. Esta cementación endurecería la piedra en una fase inicial, hasta un cierto límite, para después continuar con el proceso de alteración.

CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA

Los resultados obtenidos en la fase de análisis químico de los extractos se han representado gráficamente en figuras para poder obtener las conclusiones más relevantes. En la figura 11 se ha realizado una representación de la concentración total lixiviada para cada tipo de roca. La roca Bl es la que sufre un mayor grado de lixiviación mediante agua destilada, siendo prácticamente el doble que en el caso de las rocas Lu y VI-I. Por su parte, la muestra Tr se encuentra en una situación intermedia, aunque

más próxima a estas dos últimas. El valor total de miliequivalentes lixiviados con agua destilada se puede traducir directamente en la alterabilidad intrínseca de las rocas en condiciones ambientales normales, es decir, en la mayor o menor predisposición a ser alterada por causas inherentes a las propias rocas. Por lo tanto, la roca Bl presenta una alterabilidad intrínseca mayor que las Tr, Lu y VI-I. La concentración de HCO_3^- en las muestras Tr, VI-I y Lu es muy similar en todas ellas, con valores mucho más bajos que la obtenida para la muestra Bl. Es una consecuencia lógica de lo observado en la figura 11, ya que Bl era la roca en la que se obtenía una mayor concentración global en el lixiviado, siendo todas ellas de composición carbonatada. Este hecho condiciona la distribución de las muestras en los gráficos de dispersión, en los que se han representado las concentraciones elementales frente al contenido en HCO_3^- . Así, la muestra Bl siempre aparece muy lejos de las otras tres (según la distancia medida en el eje de abscisas), dada su proporción mucho mayor en este anión.

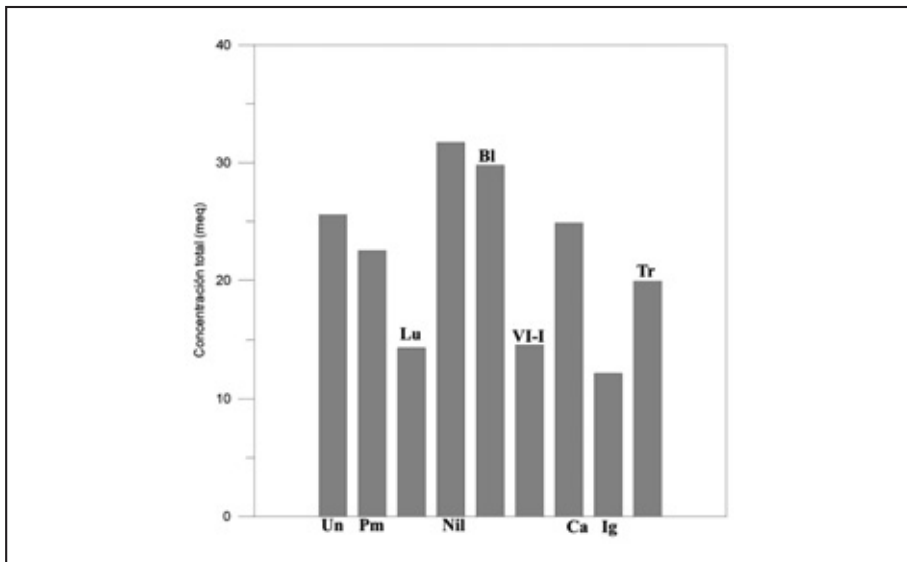


Fig. 11. Representación de la concentración total de los lixiviados, expresada en miliequivalentes.

En las figuras 12 y 13 se han representado los datos relativos a Ca y Mg en los lixiviados. De lo observado en estas figuras se puede destacar que la roca que libera más Ca es Tr, aproximadamente el doble que las muestras Lu y VI-I y cerca de cuatro veces la correspondiente a Bl. Por otra parte, la cantidad de Mg lixiviada por las rocas Tr, Lu y VI-I es muy baja, prácticamente nula, mientras que la muestra Bl presenta una concentración en este elemento muy elevada. Este hecho se explica fácilmente, ya que Bl es una roca dolomítica, es decir, compuesta por carbonatos de calcio y magnesio, mientras que las otras tres son de tipo calcáreo y en ellas es el Ca el catión mayoritario en sus minerales carbonatados.

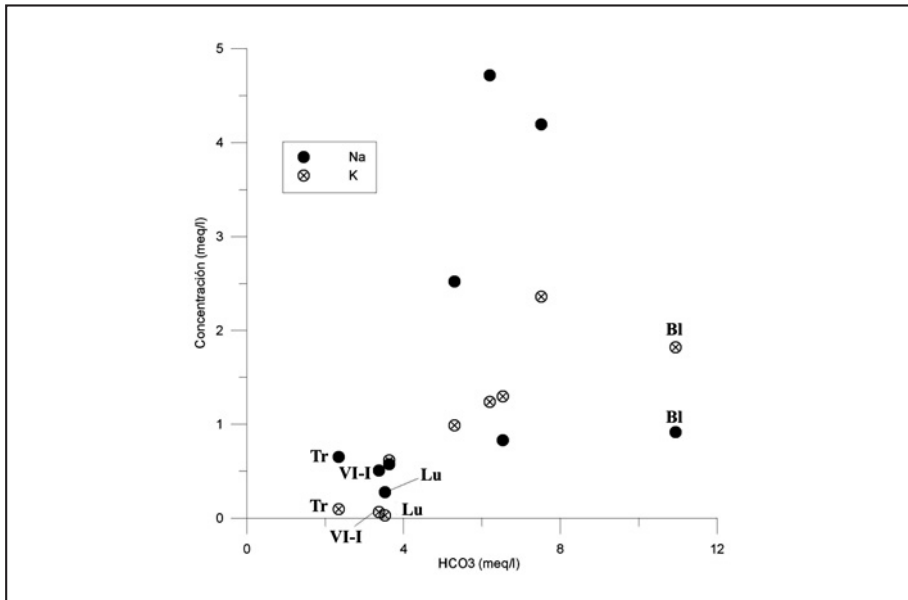


Fig. 14. Representación de la concentración de Na y K en los lixiviados, frente al contenido en HCO₃.

En las figuras 14 y 15 se han representado los datos relativos a Na y K en los lixiviados. De lo observado en ambos gráficos se concluye que el Na lixiviado en las cuatro rocas valoradas se encuentra en un rango de concentración muy similar, con valores muy bajos. Por su parte, el comportamiento relativo al K permite apreciar cómo el lixiviado de la muestra Bl presenta un contenido en este elemento marcadamente superior al de las otras tres rocas, en las cuales su concentración medida es prácticamente nula. Esta situación queda claramente reflejada en la figura 15.

En la figura 16 se representan las concentraciones de los elementos alcalinos (Na+K) frente a los alcalino-térreos (Ca+Mg). En este gráfico queda claro que existen tres situaciones netamente diferenciables respecto de los cationes lixiviados:

- La muestra Bl presenta altas concentraciones (Ca+Mg) y (Na+K).
- La muestra Tr presenta alta concentración (Ca+Mg) y baja concentración (Na+K).
- Las muestras Lu y VI-I presentan bajas concentraciones (Ca+Mg) y (Na+K).

Finalmente, en las figuras 17 y 18 se han representado los datos relativos a los contenidos en Cl y SO₄ en los lixiviados. Estos aniones no forman parte de los elementos principales en las rocas y, aun cuando su concentración total es muy baja en el material sólido, son solubilizados con una gran facilidad cuando el material es sometido al contacto con el agua destilada.



Fig. 15. Representación de la concentración de Na en los lixiviados frente al contenido en K.

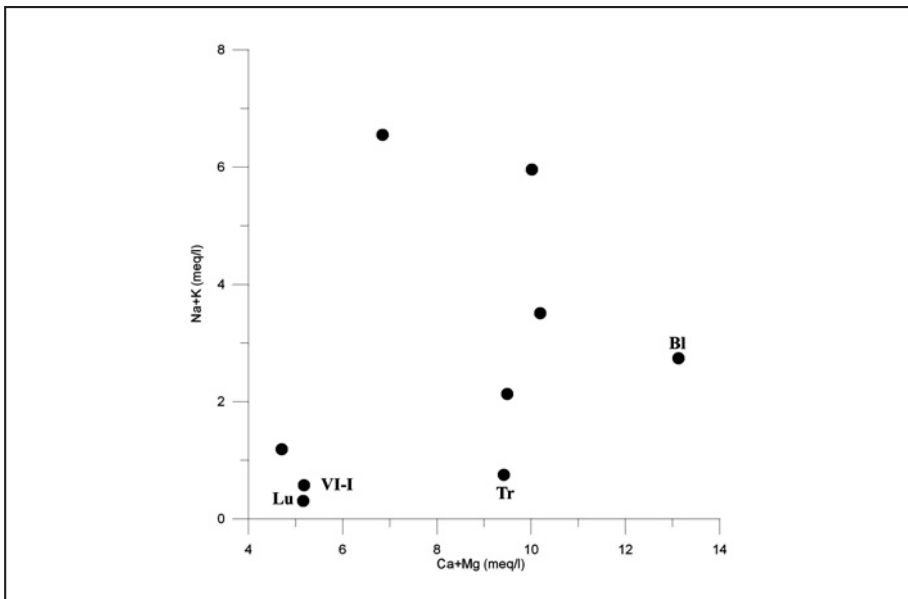


Fig. 16. Representación de la concentración de (Ca+Mg) en los lixiviados frente al contenido en (Na+K).

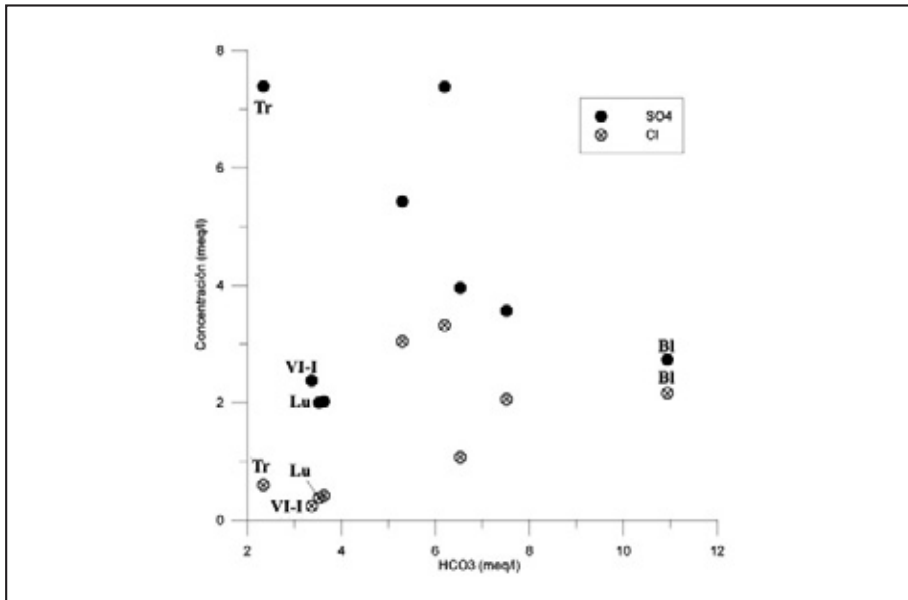


Fig. 17. Representación de la concentración de Cl y SO₄ en los lixiviados, frente al contenido en HCO₃.

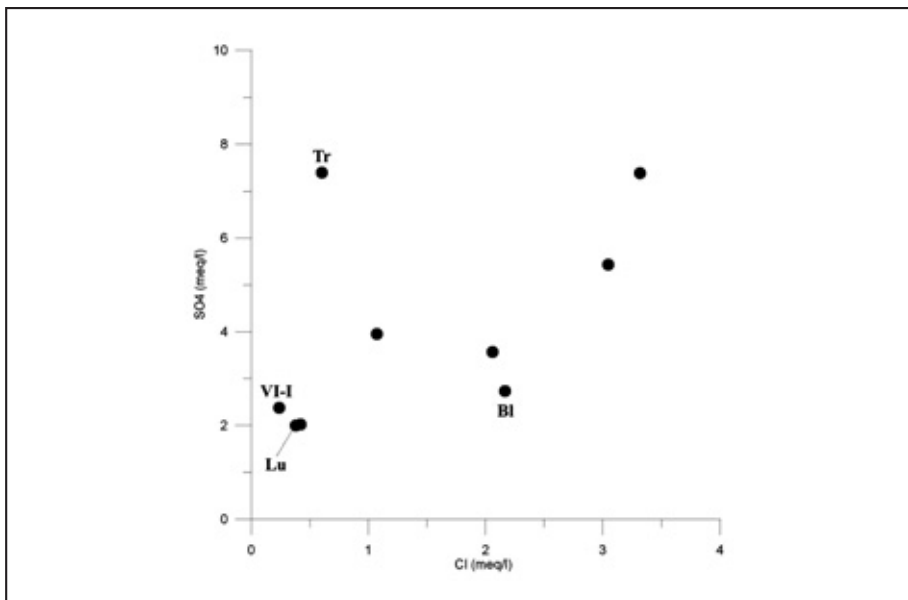


Fig. 18. Representación de la concentración de Cl en los lixiviados frente al contenido en SO₄.

El contenido en Cl en los lixiviados es muy similar para las muestras Tr, Lu y VI-I, que en los tres casos se sitúa en un nivel de concentración muy bajo, mientras que la muestra Bl presenta una mayor concentración de Cl en el lixiviado.

En cuanto al SO_4 se observa una situación similar, con un contenido prácticamente idéntico en los lixiviados de Lu, VI-I y Bl, y una concentración muy superior en el correspondiente a Tr.

La figura 18 refleja las proporciones relativas entre Cl y SO_4 en los lixiviados, observándose tres situaciones distintas:

- a) La muestra Tr, con $\text{SO}_4 \gg \text{Cl}$
- b) La muestra Bl, $\text{SO}_4 \oplus \text{Cl}$
- c) Las muestras Lu y VI-I, con $\text{SO}_4 > \text{Cl}$

Como resumen, los resultados obtenidos para las muestras VI-I y Lu en el análisis de los lixiviados con agua destilada son muy similares, lo que es un reflejo directo de la evidente similitud que existe entre las características petrológicas de ambas rocas (son rocas calcáreas recristalizadas). En los dos casos, la concentración global de los lixiviados es la más baja de los cuatro materiales sometidos a estudio en este trabajo, y en ellos los elementos predominantes son Ca, SO_4 y Na.

Si tomamos esta situación como referencia, los resultados obtenidos para la roca Tr indican una mayor concentración global en el lixiviado con agua destilada. Los elementos predominantes en los lixiviados de la roca Tr son los mismos que los de las dos citadas previamente (Ca, SO_4 y Na), aunque en este caso la cantidad lixiviada de Ca y SO_4 es netamente superior. La roca Tr es un travertino, roca calcárea con un grado de recristalización bajo, lo que ha debido condicionar sin duda la mayor predisposición a la lixiviación de los minerales presentes.

Finalmente, el lixiviado de la muestra Bl presenta una concentración global de aproximadamente el doble que las correspondientes a VI-I y Lu, y los elementos mayoritarios en solución son HCO_3 , Mg y K. El fuerte contraste químico observado frente a las otras tres rocas responde principalmente a que Bl corresponde a una roca dolomítica (compuesta por carbonatos de Ca y Mg), mientras que las otras tres son rocas de tipo calcáreo.

CONCLUSIONES

La variación de la resistencia mecánica del material tras heladicidad depende de la porosidad, del valor inicial de la propiedad mecánica y de las características texturales de las rocas. Este ensayo permite comprobar si el valor residual obtenido para un tipo litológico determinado es el adecuado para cumplir las sollicitaciones mecánicas que le son requeridas tras su puesta en obra. Este es un criterio objetivo para la aceptación o rechazo de un material para su uso en exteriores en zonas relativamente húmedas y frías.

Para las rocas carbonatadas clasificadas como bioesparitas y rocas carbonatadas recristalizadas se han establecido modelos globales para la predicción de la resistencia mecánica que presentará el material tras los ciclos de heladicidad. Esta predicción no ha sido posible para las biomicitas.

Los resultados obtenidos indican que dentro del grupo de las rocas carbonatadas recrystalizadas son heladizos los carbonatos calcíticos recrystalizados no macroporosos.

En todas las rocas, un número suficiente de ciclos de hielo-deshielo producirá con el tiempo un deterioro en el material y la disminución de sus propiedades mecánicas, por lo que es necesario evaluar la resistencia mecánica tras heladidad teniendo presente el número de ciclos reales que puede tener que soportar el material tras su puesta en obra y no los 25 ciclos que contempla la norma actual.

Los resultados obtenidos en los experimentos de lixiviación mediante agua destilada se corresponden directamente con los tipos petrológicos de las muestras empleadas.

La cantidad total de solutos lixiviados va a tener una relación directa con la estabilidad química de la roca, ya que refleja tanto la predisposición a perder material cuando entra en contacto con el agua, como a generar problemas relacionados con la cristalización de sales (como consecuencia del movimiento de dichos solutos).

Las rocas aquí estudiadas muestran distintos comportamientos frente a los experimentos de lixiviación. Así, las rocas calcáreas recrystalizadas (Lu y VI-I) presentan el menor valor de solutos lixiviados en contacto con agua destilada, lo que significa que su deterioro químico por lavado será bajo. Por el contrario, la muestra de composición dolomítica (Bl) es la que sufre una mayor pérdida de solutos en estas condiciones experimentales, lo que significa que este tipo petrológico es el más proclive a sufrir deterioro por lavado de solutos en contacto con agua de entre todos los aquí analizados. Finalmente, la roca calcárea parcialmente recrystalizada (Tr) se encuentra en una situación intermedia entre los dos casos extremos citados. De todos estos resultados se infiere que las rocas dolomíticas analizadas han mostrado, comparativamente, mayor pérdida de elementos químicos por lixiviado con agua destilada que las rocas calcáreas; en estas últimas se observa, además, que las mayores pérdidas de solutos tienen lugar en aquellas rocas con un grado de recrystalización diagenética más elevado.

Todas estas valoraciones indican la vulnerabilidad al deterioro de las rocas desde el punto de vista químico en igualdad de condiciones experimentales (lixiviado por agua destilada). Pero en su uso constructivo intervienen además otros factores que podrán incrementar dicho deterioro, como son la composición de los cementos y morteros empleados, o el acceso a las rocas de soluciones de composición química variada (como por ejemplo aguas con contenidos salinos elevados por lixiviado de excrementos de aves), aspectos éstos que precisan de estudios complementarios para poder cuantificar las situaciones de forma más precisa.

Las diferentes características petrológicas también condicionan los tipos de elementos químicos lixiviados. Así, las rocas calcáreas liberan principalmente Ca, SO_4 y Na (siendo cuantitativamente más abundantes las proporciones de Ca y SO_4 en la roca Tr), mientras que en el lixiviado de la roca dolomítica predominan HCO_3 , Mg y K. Este hecho será además relevante en cuanto a las posibles sales que se puedan formar por el movimiento de los solutos una vez las rocas estén puestas en obra, lo que también estará íntimamente relacionado con los elementos químicos aportados por los cementos y morteros y por los distintos tipos de aguas que entren en contacto con las rocas una vez puestas en obra. Así, por ejemplo, el sodio lixiviado de las rocas se podrá combinar con el sul-

fato aportado por las aguas o por los morteros presentes (dando lugar a la precipitación de sales del grupo mirabilita/tenardita) o bien con el cloruro (formándose en este caso halita), siendo de distinto tipo el deterioro ocasionado por la formación de unas sales u otras.

BIBLIOGRAFÍA

- BELL, F.G. (1993), «Durability of carbonate rock as a building stone with comments on its preservation», *Environmental Geology*, 21, pp. 187-200.
- DAVIS, J.C. (1973), *Statistics and Data Analysis in Geology*, New York, Wiley.
- DEAN, W.E. (1974), «Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods», *Journal of Sedimentary Petrology*, 44, pp. 242-248.
- EVERETT, D.H. (1961), «The thermodynamics of frost damage to porous solids», *Trans. Faraday Society*, 465(57,9), pp. 1441-1451.
- GONZÁLEZ-MESONES, F. (2008), «El comportamiento frente al hielo de la Piedra Natural», *Tierra y Tecnología*, 33, pp. 54-58.
- GISBERT, J.; ARRANZ, E.; BUJ, O.; FRANCO, B. y MATEOS, I. (2004), *La piedra natural en Aragón*, Capítulo 6, Gobierno de Aragón.
- NORMA UNE-EN 12372 (1999), *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la flexión bajo carga concentrada*.
- 67-028-97-EX, *Ladrillos cerámicos de arcilla cocida. Ensayo de heladicidad*.
 - 1925 (1999), *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad*.
 - 12407 (2001), *Métodos de ensayo para piedra natural. Estudio petrográfico*.
 - 13755 (2002), *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica*.
- RUEDRICH J. y SIEGISMUND S. (2006), «Fabric dependence of length change behaviour induced by ice crystallisation in the pore space of natural building stone», *Heritage Weathering Conservation*, 1, pp. 497-505.
- SCHERER, G.W. (1999), «Crystallisation in pores», *Cement and concrete Research*, 29, pp. 1347-1358.
- VERA, J.A. (ed.) (2004), «Cordilleras Ibérica y Costero-Catalana», *Geología de España*, Madrid, SGE-IGME, pp. 467-470.
- WINKLER, E.M. (1968), «Frost damage to stone and concrete: geological considerations», *Engineering Geology*, 2, pp. 315-323.
- WRIGHT, V.P. (1992), «A revised classification of limestones», *Sedimentary geology*, 76 (3-4), pp. 177-185.
- YAVUZ, H.; ALTINDAG, R.; SARAC, S.; UGUR, I. y SENGUN N. (2006), «Estimating the index properties of deteriorated carbonate rocks due to freeze-thaw and thermal shock weathering», *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 43, pp. 767-775.

Recibido el 27 de octubre de 2008

Aceptado el 18 de marzo de 2011

**APLICACIÓN DE MODELOS PREDICTIVOS DE
DISTRIBUCIÓN A LA GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL
LOCAL: LAS RAPACES NOCTURNAS DE MORA
DE RUBIELOS COMO CASO DE ESTUDIO**



Demetrio Vidal Agustín

APLICACIÓN DE MODELOS PREDICTIVOS DE DISTRIBUCIÓN A LA GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL LOCAL; LAS RAPACES NOCTURNAS DE MORA DE RUBIELOS COMO CASO DE ESTUDIO*

*Demetrio Vidal Agustín***

RESUMEN

Una de las herramientas básicas para la conservación y gestión de la biodiversidad es conocer la distribución de los organismos. El aumento y la aparición de nuevas tecnologías en los últimos años han permitido desarrollar una de las metodologías más innovadoras y en constante auge para conocer la distribución de distintas especies.

Esta metodología consiste en la elaboración de modelos predictivos de distribución, basada en tomar datos de presencia/ausencia para determinadas especies y una serie de variables que sean importantes para su predicción.

En este trabajo, se ha realizado la creación de un modelo predictivo para la distribución de las aves rapaces nocturnas y chotacabras en la localidad de Mora de Rubielos con la finalidad de poder extrapolar la metodología utilizada a otros grupos de organismos y así generar un sistema eficaz para la gestión medioambiental local.

Palabras clave: modelos predictivos, distribución, rapaces nocturnas, gestión local.

* Resumen del trabajo realizado con una ayuda del Instituto de Estudios Turolenses en su XXVI Concurso de Ayudas a la Investigación de 2008.

** deviamora@hotmail.com

ABSTRACT

The application of Predictive Distribution Models to local environmental management: a study of the nocturnal birds of prey of Mora de Rubielos.

One of the basic tools for biodiversity conservation and management is knowing the distribution of the organisms. The growth and appearance of new technologies in recent years have allowed for the development of one of the most innovative and increasingly used methodologies for discovering the distribution of different species.

This methodology involves the development of predictive distribution models using data based on the presence/absence of determined species, and a series of variables which may be important for predicting them.

In this study, a predictive model has been created for the distribution of nocturnal birds of prey and night-hawks in the town of Mora de Rubielos, in order to be able to extrapolate the methodology used to other groups of organisms, and thus generate an efficient system for local environmental management.

Key words: predictive models, distribution, nocturnal bird of prey, local management.

INTRODUCCIÓN

La Biología de la Conservación es la disciplina científica multidisciplinar que se encarga de investigar y describir la biodiversidad, entender los efectos de las actividades humanas sobre las comunidades y ecosistemas, desarrollar métodos prácticos encaminados a la protección y recuperación de las comunidades y ecosistemas (SUTHERLAND *et al.*, 2004). Para desarrollar herramientas enfocadas a la protección y mantenimiento de la biodiversidad, una tarea imprescindible es conocer la distribución de los seres vivos, que facilitará una adecuada planificación y gestión de la diversidad biológica. No en vano, las directrices europeas para el diseño de la Red Natura 2000 se basan en el conocimiento de la distribución de las aves (Directiva de Aves, 1979) y de los hábitats y otros vertebrados (Directiva de Hábitats, 1992). Aunque se ha avanzado mucho en la cantidad y calidad de información disponible en los últimos años en diferentes grupos, el grado de resolución espacial de esta cartografía es bajo y no es suficiente para conseguir el objetivo de que sea realmente útil, en la mayoría de los casos, en la toma de decisiones en la gestión ambiental.

Por lo tanto, la metodología debe ser dirigida hacia un aumento de la resolución espacial para el estudio de la distribución y abundancia de los seres vivos. Actualmente con la disponibilidad de la información obtenida mediante teledetección, sistemas de información geográfica y técnicas estadísticas adecuadas, se ha abierto la posibilidad de realizar modelos predictivos de distribución a partir de diversas variables ambientales (GUISAN y ZIMMERMANN, 2000; ARAÚJO y GUISAN, 2006). Los modelos predictivos de distribución de especies aportan dos fundamentos básicos que justifican su importancia: 1) ayudan a entender cómo funciona el sistema ambiental en el que están integradas las especies y cómo afectan a su distribución diversos factores ambientales; y 2) predicen la

distribución espacial de forma continua sobre el espacio a partir de información que ha sido recogida en sitios puntuales (inventarios). De forma resumida, esta aproximación consiste en prospeccionar una muestra del territorio en la que se obtiene información sobre la presencia/ausencia de las especies y una gama de variables ambientales. El paso siguiente consiste en el desarrollo de modelos matemáticos, que permitan predecir la probabilidad de presencia de cada especie a partir de una selección de las variables ambientales.

Las aves rapaces nocturnas (Orden Estrigiformes) son un conjunto de aves que se caracterizan por estar dotadas de unas fuertes garras y un pico afilado, herramienta necesaria para cazar. El adjetivo de nocturno señala una actividad fundamental durante las horas crepusculares o de la noche. Las rapaces nocturnas poseen unas características peculiares que permiten diferenciarlas fácilmente de otras aves, muchas de las cuales están íntimamente relacionadas con su carácter depredador y nocturno. Entre ellas destacan: una forma redondeada del cuerpo con un gran desarrollo de la cabeza, una visión especialmente perfeccionada capaz de captar pequeñas cantidades de luz, son auténticas estrategias del camuflaje para pasar desapercibidas durante el día, presentan un oído altamente desarrollado adaptado para la localización de presas, su plumaje le confiere un vuelo silencioso que permite oír a sus presas mientras vuelan, el dedo exterior es reversible y al cerrar la garra actúa como una trampa perfecta, no poseen buche por lo que deben alimentarse con cantidades pequeñas y a intervalos más regulares, también presentan una reproducción adaptada a la disponibilidad de alimento, por lo que pueden no criar si el alimento escasea (MIKKOLA, 1995).

Emparentados con las rapaces nocturnas, están los chotacabras (Orden Caprimulgiformes), que presentan características comunes, aunque una diferencia importante es el hábito alimenticio, ya que mientras las rapaces nocturnas tienen preferencia por depredar sobre vertebrados, los chotacabras lo hacen sobre insectos.

Las aves rapaces nocturnas y los chotacabras presentan una característica que facilita el estudio de su distribución. Se trata de la comunicación entre individuos basada en sonidos. Estos cantos de territorialidad y cortejo principalmente son fácilmente distinguibles de unas especies a otras, y además son emitidos en un periodo determinado de tiempo, en el crepúsculo y durante la noche. De ahí que se haya elegido a este grupo para cartografiar su distribución y permitir obtener resultados satisfactorios extrapolándolos a otros grupos. Además, todas las especies de rapaces nocturnas y chotacabras presentan desde hace años un estatus de protección y están catalogadas como sensibles a la alteración de su hábitat (MIKKOLA, 1995; LATORRE *et al.*, 1998).

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivos principales la creación del modelo predictivo propiamente dicho, identificar las principales variables que influyen sobre las aves rapaces nocturnas y chotacabras y realizar una cartografía precisa basada en cuadrículas de 1x1 km. Toda esta serie de objetivos irá encaminada a su aplicación más directa en la gestión medioambiental y de la biodiversidad local. Entre las aplicaciones destaca la posibilidad de simular situaciones con diferentes escenarios para facilitar la planificación de usos del territorio (BUCKLAND *et al.*, 1993), gestionar o catalogar adecuadamente los parajes naturales municipales y desarrollar un plan urbanístico-turístico municipal acorde con la biodiversidad del municipio.

MATERIAL Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza al sur de la provincia de Teruel en el término municipal de Mora de Rubielos, cuya extensión es de 166,2 Km². Toda el área de estudio se encuentra en el piso bioclimático supramediterráneo. Geológicamente la zona se engloba dentro de la rama sur aragonesa del Sistema Ibérico, presentando principalmente materiales cretácicos plegados formando estructuras típicas denominadas cabalgamientos. Las características generales del medio están condicionadas por la topografía y la orografía del terreno debido al gran desnivel entre el punto más alto (1.808 m) y el punto más bajo (795 m) y también por la orientación hacia el sur de dicho desnivel. Esta orientación y las precipitaciones medias anuales de 485 mm (www.aragob.es) le confieren cierto grado de xerofilia. Predominan los mosaicos de matorrales mixtos interzonales (*Genista scorpius*, *Thimus vulgaris*, *Cistus* sp., *Lavandula latifolia*, *Crataegus monogina*, *Rosa canina*...) intercalados con bosques de quercíneas (*Quercus ilex*, *Quercus faginea* y *Quercus coccifera*) y sabino-enebrales, aunque también abundan espesos bosques de especies del género *Pinus* (*Pinus pinaster*, *Pinus nigra* y *Pinus sylvestris*). En las zonas más llanas o menos abruptas hay un predominio de cultivos de secano y frutales íntimamente ligados a una gran cantidad de construcciones dispersas llamadas masías.

MUESTREOS NOCTURNOS

En primer lugar se dividió el área de estudio en cuadrículas UTM de 1x1 km, que corresponderán a las unidades de muestreo. La escala de 1x1 km se ha escogido como un compromiso entre la necesidad de obtener la información a una escala de detalle y el necesario realismo que impone mantener el número de unidades de muestreo, tanto de aves rapaces nocturnas como de características del hábitat, dentro de límites razonables. Los 166,2 Km² del término quedan encuadrados en un total de 203 cuadrículas, por lo que las cuadrículas a caballo entre 2 términos se tratarán como cuadrículas normales. Seguidamente se seleccionaron aleatoriamente 54 para la obtención de una muestra representativa de los gradientes ambientales y poder así luego inferir en las demás cuadrículas no prospectadas. Cada unidad de muestreo se visitó en 4 ocasiones para cubrir los periodos de máxima actividad de emisión de reclamos de todas las especies. Los periodos de visita a las diferentes cuadrículas se realizaron entre el 15 de diciembre y el 15 de enero; entre el 15 de marzo y el 15 de abril; entre el 15 de abril y el 15 de mayo y entre el 15 de mayo y el 15 de junio. La distribución de las aves rapaces nocturnas y de los chotacabras se estimó a partir de las visitas específicas realizadas mediante escuchas de 10 minutos en noches con buenas condiciones meteorológicas. Se trata de una metodología similar a la utilizada en el Proyecto NOCTUA de la Sociedad Española de Ornitología y que se lleva realizando con éxito.

VARIABLES DEL MODELO

En primer lugar, se introdujeron las localizaciones de presencia para todas las especies detectadas en un Sistema de Información Geográfica. Por otro lado, las coberturas del suelo utilizadas como variables predictoras se obtuvieron mediante fotointerpretación de fotografías aéreas y posterior comprobación en el campo, teniendo en cuenta la composición y la cobertura (SUTHERLAND *et al.*, 2004). El modelo digital de elevaciones (MDE) del terreno fue cedido por parte de un proyecto financiado por la Unión Europea para implementar en la comarca Gúdar-Javalambre (a la cual pertenece Mora de Rubielos) un sistema de itinerarios culturales y naturales con simulación en 3D, del que se han extraído las informaciones de altitud y pendiente en grados. El número de coberturas del suelo que componen este mapa para el área de estudio es de 21 (fig. 1) y sus áreas totales aparecen reflejadas en la tabla 1. A partir de él se ha conseguido el área de cada una de los polígonos que lo componen. De esta manera, la presencia/ausencia de las especies en cuestión se ha establecido como variable respuesta, mientras que las variables predictoras que han sido incluidas en el modelo son: los tipos de cobertura del suelo por cuadrícula, la altitud media por cuadrícula y la pendiente media por cuadrícula (tabla 2).

TABLA 1

Coberturas del suelo y extensión de las mismas presentes en el área de estudio

COBERTURA DEL SUELO	ÁREA (HA)	PORCENTAJE (%)
Pinar pino silvestre > 40%	1.968,02	9,69
Pinar mixto > 40%	837,81	4,13
Pinar pino laricio > 40%	1.671,13	8,23
Pinar pino rodeno > 40%	3.097,15	15,26
Bosque mixto < 40%	441,53	2,18
Bosque mixto > 40%	50,82	0,25
Quejigar > 40%	61,78	0,30
Carrascal > 40%	1.794,35	8,83
Carrascal < 40%	11,32	0,06
Coscojar > 40%	2.605,1	12,83
Coscojar < 40%	420,19	2,07
Sabino-enebral > 40%	312,63	1,54
Sabino-enebral < 40%	1.810,98	8,92
Zonas con poca vegetación < 10%	1.798,99	8,86
Pastos	292,14	1,45
Ríos - arroyos	374,44	1,84
Cultivos de regadío	14,53	0,07
Frutales	200,12	0,99
Cultivos de secano	2.371,83	11,68
Núcleos urbanos	103,89	0,51
Construcciones	61,26	0,30
TOTAL	20.300	100

TABLA 2

**Variables independientes utilizadas para la modelización
de la distribución espacial de las aves rapaces nocturnas y chotacabras**

VARIABLES INDEPENDIENTES PREDICTORAS	ABREV.	FUENTE
Pinar (<i>Pinus sylvestris</i>) con cobertura mayor del 40%	P. syl. > 40%	Ortofoto
Pinar mixto con cobertura mayor del 40%	P. m. > 40%	Ortofoto
Pinar (<i>Pinus nigra</i>) con cobertura mayor del 40%	P. nig. > 40%	Ortofoto
Pinar (<i>Pinus pinaster</i>) con cobertura mayor del 40%	P. pin. > 40%	Ortofoto
Bosque mixto con cobertura mayor del 40%	B. m. > 40%	Ortofoto
Bosque mixto con cobertura menor del 40%	B. m. < 40%	Ortofoto
Quejigal (<i>Quercus faginea</i>) con cobertura mayor del 40%	Q. > 40%	Ortofoto
Carrascal (<i>Quercus ilex</i>) con cobertura mayor del 40%	Ca. > 40%	Ortofoto
Carrascal (<i>Quercus ilex</i>) con cobertura menor del 40%	Ca. < 40%	Ortofoto
Coscojar (<i>Quercus coccifera</i>) con cobertura mayor del 40%	Cos. > 40%	Ortofoto
Coscojar (<i>Quercus coccifera</i>) con cobertura menor del 40%	Cos. < 40%	Ortofoto
Sabino-enebral con cobertura mayor del 40%	S-E > 40%	Ortofoto
Sabino-enebral con cobertura menor del 40%	S-E < 40%	Ortofoto
Zonas con poca vegetación, cobertura menor del 10%	Z. p. veg. < 10%	Ortofoto
Pastos	Pas.	Ortofoto
Ríos-Arroyos	Ríos-A.	Ortofoto
Cultivos de regadío	C. r.	Ortofoto
Frutales	Frut.	Ortofoto
Cultivos de secano	C. s.	Ortofoto
Núcleos urbanos	N. u.	Ortofoto
Construcciones (Embalses, graveras, carreteras,...)	Constr.	Ortofoto
Altitud	A. m.	MDE
Pendiente	P. m.	MDE

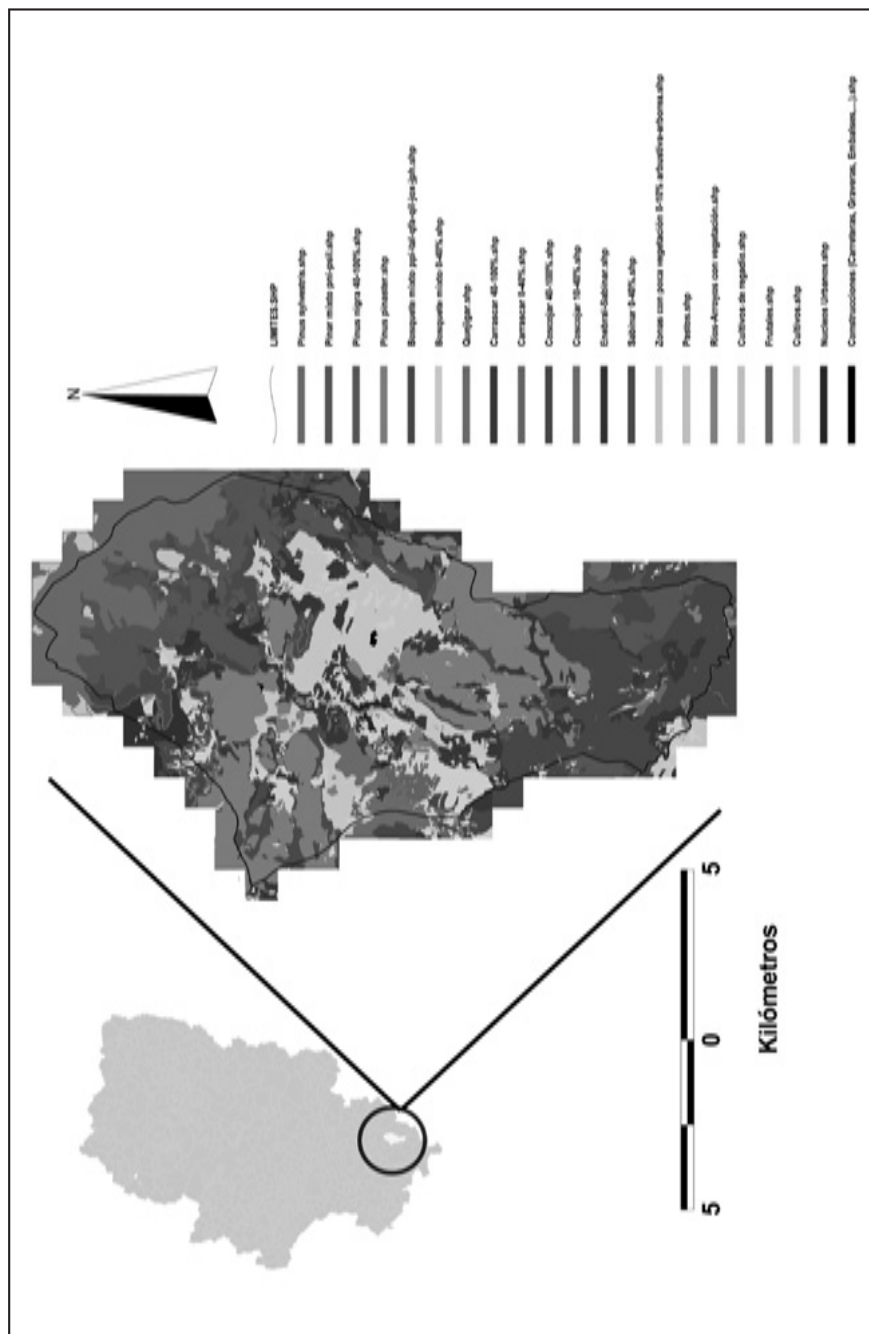


Fig. 1. Localización del área de estudio y cartografía de coberturas de usos del suelo utilizadas en el estudio.

DESARROLLO DEL MODELO

En un modelo dirigido a la predicción del hábitat de una especie, una de las características que condicionan todo el proceso de modelización es si la información de distribución recoge datos de presencia y ausencia o sólo datos de presencia. Así, en un gran número de atlas o de datos de distribución de museos, únicamente se dispone de datos de presencia. Además, y debido al elevado coste de realizar censos de detalle que incluyan datos de ausencia es impracticable su obtención cuando la extensión a estudiar es elevada. Como la mayoría de métodos basados en la teoría de la probabilidad necesitan para los modelos binomiales datos de presencia y ausencia, se han propuesto diferentes alternativas. Por un lado, metodologías como la evaluación multicriterio (STORE y JOKIMÁKI, 2003), ENFA, *Environmental Niche Factor Analysis* (HIRZEL *et al.*, 2002) o los algoritmos genéticos (ANDERSON *et al.*, 2003 y TERMANSEN *et al.*, 2006) permiten la obtención de predicción de potencialidad de hábitat con datos únicamente de presencia. Por otro lado, se ha propuesto la creación de pseudo-ausencias (ZANIEWSKI *et al.*, 2002) para poder utilizar métodos estadísticos. La información obtenida para este trabajo ha recogido datos de ausencias, ya que se ha visitado en cuatro ocasiones cada punto de muestreo y las especies detectadas no son raras o sólo localizadas en unos pocos puntos de su distribución potencial (NOGUÉS-BRAVO y AGUIRRE, 2006), por lo que, en teoría, ninguna de las alternativas presentadas sería necesaria.

Como herramienta de predicción se utilizaron regresiones logísticas binarias, usadas ampliamente en el desarrollo de modelos predictivos de especies (CARROLL *et al.*, 1999; MÁRCIA BARBOSA *et al.*, 2003; PIORECKY y PRESCOTT, 2006). Los análisis se llevaron a cabo en el paquete informático SPSS 12.0, utilizando el método por pasos de Wald para incluir las variables en el modelo. Se utilizaron los parámetros $\alpha = 0,10$ y $\alpha = 0,15$ (PIORECKY y PRESCOTT, 2006) para la reducción de variables y poder producir modelos más parsimoniosos acordes con las variables predictoras. Los datos primeramente se examinaron para la detección de variables correlacionadas usando el coeficiente de correlación de Spearman ($r > 0,65$) (LOYN *et al.*, 2001). Para la selección de los mejores modelos predictivos de distribución se tuvieron en cuenta los siguientes criterios: comparando el menor AIC (Criterio de Información de Akaike) (ANDERSON *et al.*, 2003 y GREÑO *et al.*, 2008), la mayor precisión global, la mayor variabilidad representada (Nagelkerke R^2) (PENG *et al.*, 2002) y el mayor poder predictivo (SYARTINILIA y TSUYUKI, 2008).

El poder predictivo se evaluó mediante un estimador de la capacidad predictiva para modelos binomiales: *Receiver Operating Characteristic*, ROC (ZWEIG y CAMPBELL, 1993). Se utilizó un valor de corte de 0,08 para mostrar las predicciones correctas e incorrectas, este valor permite determinar el punto de corte para la clasificación de los casos. Los casos con valores pronosticados que han sobrepasado el punto de corte se clasifican como positivos, mientras que aquellos con valores pronosticados menores que el punto de corte se clasifican como negativos. Así, se eligió el valor de 0,08 debido a la alta dispersión de las especies, y se aumentarían las probabilidades de identificar especies donde se prevé que se produzcan (CARROLL *et al.*, 1999 y LOYN *et al.*, 2001). Los valores de ROC son estimados por el área que queda debajo de la curva (AUC) y varían entre 0,5 y 1,0, siendo los más bajos indicativos de un modelo de escasa credibilidad y viceversa (OSBORNE *et al.*, 2001; PEARCE y FERRIER, 2000).

El AUC se trata de un buen evaluador de la predicción del modelo para estudios de presencia/ausencia (AUSTIN, 2007). En definitiva lo que predice AUC es la probabilidad en un suceso binomial, que se dé un suceso clasificado como positivo y no sea un falso positivo, de ahí que un valor mayor de AUC representa una mayor fiabilidad de la predicción.

Finalmente la cartografía de las superficies de probabilidad se realizó a partir del modelo resultante de cada especie, aplicándolo a todas las cuadrículas englobadas dentro del área de estudio.

RESULTADOS

MUESTREOS NOCTURNOS

Durante el periodo de muestreo (diciembre de 2007–junio de 2008) el número total de especies que se detectaron en el área de estudio fue de ocho, de las cuales seis correspondieron a estrigiformes: Autillo (*Otus scops*), Cárabo común (*Strix aluco*), Mochuelo común (*Athene noctua*), Búho real (*Bubo bubo*), Búho chico (*Asio otus*) y Lechuza común (*Tyto alba*). Las dos restantes correspondieron a caprimulgiformes: Chotacabras gris (*Caprimulgus europaeus*) y Chotacabras pardo (*Caprimulgus ruficollis*). De las cincuenta y cuatro cuadrículas UTM de 1x1 km prospectadas, en treinta y uno se detectó el autillo (rapaz más representada), en veintidós se detectó el chotacabras pardo, en doce se detectó el cárabo común, en seis el mochuelo, en tres el chotacabras pardo, en dos el búho real, en dos también la lechuza común y en una ocasión un búho chico con sus crías. Debido a las bajas presencias obtenidas en las detecciones de estas cuatro últimas especies (búho chico, lechuza común, búho real y chotacabras pardo) se optó por no incluirlas para su modelización, por lo que se introdujeron datos de presencias/ausencias para las cuatro especies más representadas en los muestreos.

SELECCIÓN DE MODELOS

De todas las variables incluidas en el modelo se encontraron cinco variables que diferían significativamente ($\alpha = 0,01$) entre la presencia y ausencia del cárabo en los diferentes puntos de muestreo (Am., P. syl. > 40%, Pm., > 40%, P. nig. > 40% y CS). Para el autillo se detectaron cuatro variables que diferían significativamente ($\alpha = 0,05$) entre su presencia y ausencia (Ca. > 40%, Z. p. veg., < 10%, Ríos-A. y C. s.), mientras que en el caso del mochuelo se obtuvieron dos variables que diferían significativamente ($\alpha = 0,05$) entre la presencia y ausencia de la especie (Z. p. veg., < 10% y S-E > 40%). En el caso del chotacabras gris no se detectó ninguna variable significativa ($\alpha = 0,10$), por lo que no se pudo modelizar, ya que ninguna variable pasaba el primer corte del método Wald.

Los modelos generados por el programa informático para cada especie se ven detallados en las tablas 3, 4, 5 y 6; y a partir de ellos se tuvo que seleccionar el mejor modelo predictivo de distribución mediante los criterios comentados anteriormente, los criterios más favorables se observan marcados con sombreado.

TABLA 3

Parámetros obtenidos de los modelos predictivos de distribución del cábaro para su posterior comparación para la selección del mejor modelo global

MODELO	VARIABLES SELECCIONADAS	- 2 LOG LIKELIHOOD	K	AIC	?AIC	R ²	AUC	PRECISIÓN GLOBAL (%)
1	A. m.	28,95	1	30,95	>2	0,783	0,917	81,2
2	A. m. y C. s.	17,02	2	21,02	0	0,803	0,917	85,2
3	P. syl. > 40% y P. nig. > 40%	44,94	2	48,94	>2	0,688	0,869	60,7
4	P. m. > 40% y P. nig. > 40%	31,76	2	35,76	>2	0,763	0,869	77,2
5	C. s.	28,03	1	30,03	>2	0,769	0,687	79,2
6	P. m. > 40% y P. syl. > 40%	32,03	2	36,03	>2	0,746	0,858	78,9
7	P. m. > 40% y P. nig. > 40%	31,76	2	35,76	>2	0,74	0,869	78,6
8	P. nig. > 40% y C. s.	21,39	2	25,39	>2	0,801	0,869	80,3
9	P. m. > 40%	35,93	1	37,93	>2	0,717	0,856	66,1
10	P. syl. > 40% y Pas.	43,08	2	47,08	>2	0,673	0,858	65,4

TABLA 4

Parámetros obtenidos de los modelos predictivos de distribución del mochuelo para su posterior comparación para la selección del mejor modelo global

MODELO	VARIABLES SELECCIONADAS	- 2 LOG LIKELIHOOD	K	AIC	?AIC	R ²	PRECISIÓN GLOBAL (%)	AUC
1	Z.p. veg. < 10%	33,13	1	35,13	0	0,161	90,7	0,642
2	S-E > 40%	34,33	1	36,33	1,20	0,119	77,8	0,575

TABLA 5

Parámetros obtenidos de los modelos predictivos de distribución del autillo para su posterior comparación para la selección del mejor modelo global

MODELO	VARIABLES SELECCIONADAS	2 LOG LIKELIHOOD	K	AIC	ΔAIC	R ²	PRECISIÓN GLOBAL (%)	AUC
1	Ríos-A., C. s., Frut., Cos. > 40% y Q. > 40%	37,37	5	47,37	0	0,657	68,5	0,771
2	Ríos-A., C. s., Frut., y Cos. > 40%	41,79	4	49,79	>2	0,599	64,8	0,771
3	Ríos-A., C. s., Frut., y Q > 40%	41,10	4	49,10	1,72	0,608	61,1	0,771
4	Ríos-A., C. s., Frut., A.m. y Constr.	38,79	5	48,79	1,41	0,639	68,4	0,771
5	Ríos-A., C. s., Frut., A.m. y P. nig > 40%	40,05	5	50,05	>2	0,623	68,5	0,771
6	Ríos-A., C. s., Frut. y A. m.	42,60	4	50,60	>2	0,588	59,3	0,771
7	Ríos-A., C. s. y Cos. > 40%	50,82	3	56,82	>2	0,464	59,3	0,771
8	Ríos-A. y Cos. > 40%	55,99	2	59,99	>2	0,375	59,3	0,771
9	C. s., Constr. y Frut.	52,11	3	58,11	>2	0,442	59,3	0,74
10	C. s., Frut. y Pas.	52,45	3	58,45	>2	0,437	59,3	0,74

TABLA 6

Parámetros de los mejores modelos predictivos de distribución por especie

MODELO	K	N	AIC	R ²	PRECISIÓN GLOBAL (%)	AUC
Cáрабо	2	54	21,02	0,803	85,2	0,917
Autillo	5	54	47,37	0,657	68,5	0,771
Mochuelo	1	54	36,33	0,161	90,7	0,642

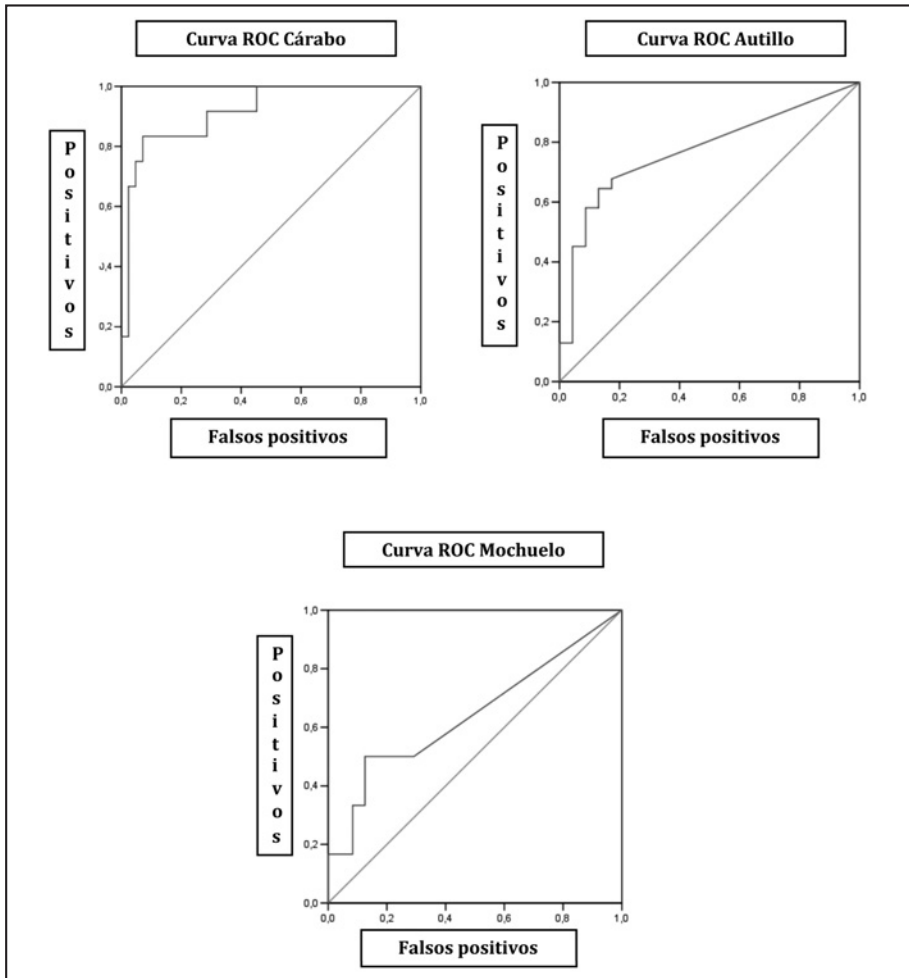


Fig. 2. Comparación de las curvas ROC y AUC para las 3 especies.

Teniendo en cuenta los criterios anteriormente mencionados las ecuaciones de los modelos fueron las siguientes:

$$\text{Cáрабо (Z)} = -8,571 + 0,007(\text{A. m.}) - 1,351 * \text{C. s.}$$

$$\text{Autillo (Z)} = -1,163 + 0,173(\text{C. s.}) + 8,7250(\text{Frut.}) + 0,703(\text{Ríos-A.}) - 0,032 * (\text{Cos.} > 40\%) + 8,760 (\text{Q.} > 40\%)$$

$$\text{Mochuelo (Z)} = -2,536 + 0,056(\text{Z. p. veg.} < 10\%)$$

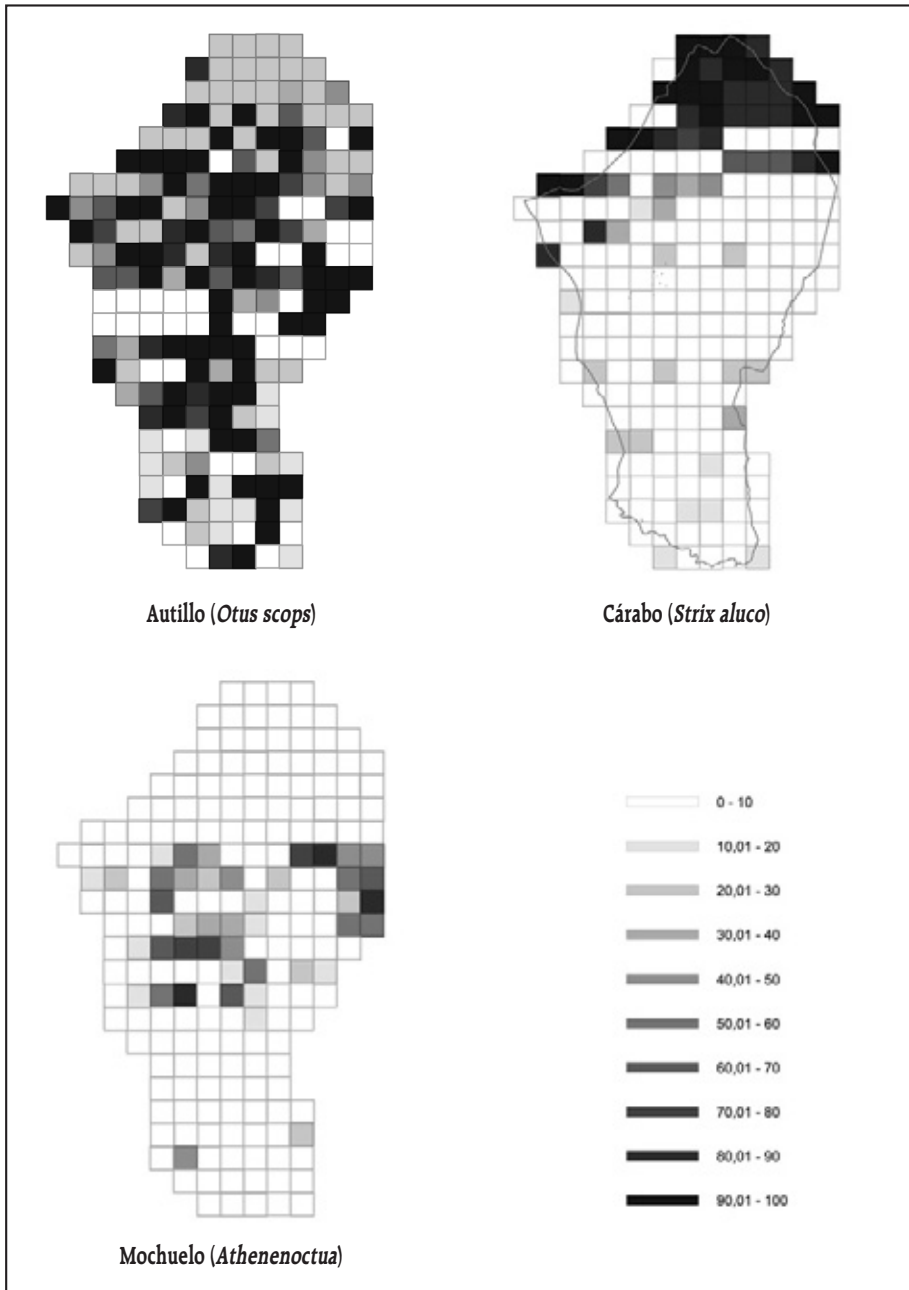


Fig. 3. Probabilidad de presencia (%) en cada cuadrícula de muestreo para las 3 especies analizadas.

Una vez se han comparado los diferentes modelos predictivos y se han calculado las ecuaciones ya se puede predecir la probabilidad de presencia de las especies en el área de estudio, pero es aconsejable (OSBORNE *et al.*, 2001) comprobar con qué grado de confianza se pueden llevar a cabo nuestras predicciones, de ahí que la figura 2 ilustre gráficamente la curva ROC y AUC. El modelo predictivo para el cárabo es el que mayor fiabilidad representa, con un AUC de 0.917 ± 0.045 de error estándar ($\alpha < 0.001$). Para el autillo y el mochuelo se obtienen unos valores más bajos de AUC, 0.771 ± 0.065 de error estándar ($\alpha = 0.001$) y 0.642 ± 0.137 de error estándar para ($\alpha = 0.259$) respectivamente.

La probabilidad de ocurrencia para cada especie se calculó implementando el resultado de la ecuación del mejor modelo predictivo en la siguiente fórmula: $P = e^z / 1 + e^z$ donde P es la probabilidad de ocurrencia, e es la base del logaritmo neperiano y z es el resultado de la ecuación de la regresión. El resultado aplicado a cada una de las cuadrículas que componen el área de estudio puede verse reflejado en la figura 3, en la que cada especie presenta una mayor probabilidad de presencia en aquellos lugares donde las variables predictoras incluidas en el modelo son más favorables.

DISCUSIÓN

Las especies de rapaces nocturnas y chotacabras que se han detectado han sido ocho, es decir el 80% de las especies de estos grupos que aparecen representados en España (MARTÍ y DEL MORAL, 2003). Las ocho especies fueron: Autillo (*Otus scops*), Cárabo común (*Strix aluco*), Mochuelo común (*Athene noctua*), Búho real (*Bubo bubo*), Búho chico (*Asio otus*), Lechuza común (*Tyto alba*), Chotacabras gris (*Caprimulgus europaeus*) y Chotacabras pardo (*Caprimulgus ruficollis*). Estos resultados entran dentro de lo que se pronosticaba antes de realizar el trabajo teniendo en cuenta las consultas que se han realizado en diferentes atlas (*Atlas de las aves reproductoras de España*, 2003; *Atlas de especies nidificantes de Aragón*, 1998). Aunque quizá haya faltado obtener información de alguna otra especie presumiblemente presente como la lechuza campestre (*Asio flammeus*) y debido a la gran cantidad de muestreos realizados se sugiere que no esté presente en el ámbito de nuestro estudio. Aun así, los resultados obtenidos son importantes, ya que pueden añadir citas de cría en lugares en los que no se sabía con anterioridad y evidencian que el área de estudio presta potencialidad para albergar a diferentes especies de aves nocturnas de medio y gran tamaño, con lo que la zona de estudio a priori se comporta como zona indicada para poder realizar predicciones. Se sugiere que al igual que proponen otros autores (DETTMERS y BART, 1999) estos resultados se deban a la elevada resolución espacial del estudio realizado, 203 Km² y cuadrículas de 1x1 km. Pese a que el número de detecciones de ciertas especies podría haber sido mayor, parece indicar que puede ser debido a factores como mayor dificultad en detección de reclamos territoriales y de cortejo y quizá una menor abundancia.

Así, se han analizado las cuatro especies más representadas en los muestreos y de ellas se han detectado las variables que más influyen en su distribución, lo que implica una ayuda considerable para poder poner en funcionamiento herramientas de gestión medioambiental (PIORECKY y PRESCOTT, 2006).

Por especies, el cárabo ha manifestado una preferencia por pinares donde la altura es la variable estudiada que más le afecta en esta área de distribución, mientras que la proporción de cultivos de se-

cano le afecta negativamente en su patrón de distribución, lo que refleja claramente sus hábitos forestales. Estos resultados coinciden con la literatura y otros trabajos publicados recientemente (SUNDE y REDPATH, 2006). Para el autillo se observa una preferencia por mosaicos agroforestales, ya que en 25 de 31 detecciones éste fue su hábitat en el que se localizó, afectando positivamente en su distribución variables como proporción de cultivos, tanto de secano como frutales, así como una cercanía a ríos o arroyos. Negativamente afecta a su distribución la presencia de coscojares densos. En estudios recientes se evidencian reducciones importantes en sus poblaciones, principalmente por el deterioro de su hábitat en ambientes mediterráneos (MARTÍNEZ *et al.*, 2007), con lo que éste puede ser un buen momento para tener capacidad de gestionar especies en las que se observan descensos poblacionales acusados. El mochuelo también presenta tendencia a ambientes abiertos con mezclas de bosquetes y cultivos, ayudando a detectar su presencia las zonas con coberturas bajas de vegetación.

Los resultados obtenidos para el chotacabras gris sugieren que se trata de una especie generalista, debido a que se ha encontrado en ambientes muy diferentes, pese a ello se piensa que puede influir en la no selección de variables predictoras para su distribución el hecho de trabajar con riquezas y no con abundancias (GUTZWILLER y BARROW, 2001).

En definitiva, en las especies estudiadas se han observado resultados acordes con la literatura (MIKOLA, 1995; MARTÍNEZ *et al.*, 2007; SUNDE y REDPATH, 2006) principalmente debido a los hábitos propios y a las características de las especies en cuestión.

En lo que respecta a los modelos predictivos, los resultados obtenidos en las validaciones (ROC y AUC) son mucho más bajos para el autillo y para el mochuelo, por lo que se debería intentar incrementar estos valores, algunos autores (OSBORNE *et al.*, 2001; PEARCE y FERRIER, 2000) implican este hecho a la posible falta de alguna variable significativa para la predicción de su distribución, los inmediatos estudios deben ir encaminados hacia la realización de esfuerzos para detectar alguna variable que pueda elevar esos valores.

A la vista de los resultados, por tanto, los modelos predictivos tienen interés por sí mismos, ya que permiten identificar variables que influyen sobre la probabilidad de presencia de las aves y la representación cartográfica de las predicciones que posibilitan un mejor aprovechamiento del potencial de estos modelos para la gestión ambiental local. Estos modelos predictivos abren también la opción de realizar simulaciones sobre cómo afectaría a la distribución de los organismos cambios futuros en el territorio, y por lo tanto servirá de gran ayuda para la toma de decisiones municipales o comarcales. También es posible diseñar escenarios que contemplen una progresión de los cambios territoriales ya iniciados, simplemente modificando las coberturas de los diferentes usos del suelo o de variables relacionadas con la presión humana en las cuadrículas que previsiblemente se verían afectadas. La aplicación de los modelos en estas nuevas condiciones permitiría evaluar los cambios esperados en las áreas de distribución de las especies, que puede producir por ejemplo la subdivisión de un área de distribución que en el presente es continua, o las variaciones en la riqueza específica.

Para concluir, cabe resaltar que la principal herramienta a escala local de gestión medioambiental es la posibilidad de simular escenarios para ver cómo varían las distribuciones de las especies, y por supuesto esta metodología sería un paso adelante para el comienzo de otros estudios con gru-

pos de organismos diferentes y así poder almacenar, gracias a los sistemas de información geográfica, la mayor biodiversidad posible para gestionarla de una manera más eficiente encaminando esfuerzos hacia su mantenimiento y protección.

Agradecimientos

Quisiera agradecer en primer lugar, para la elaboración de este estudio, al Instituto de Estudios Turolenses, por su auspicio económico y por ayudar a los jóvenes que deciden realizar estudios en terreno turolense.

En general también quiero mostrar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me han apoyado en todo momento, entre los que tengo que destacar a Juan S. Monrós, Rubén Piculo y cómo no a Raquel Sainz, que en numerosísimas ocasiones me ha acompañado en los muestreos nocturnos.

No quisiera olvidarme de mi hermano Vicente Vidal y de mi madre Francisca Agustín, por entender mi ausencia a la hora de la cena en periodo de muestreo y por su apoyo constante.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, R.P.; LEW, D. y PETERSON, A.T. (2003), «Evaluating predictive models of specie's distributions: criteria for selecting optimal models», *Ecological Modelling*, 162, pp. 211-232.
- ARAÚJO, M.B. y GUISAN, A. (2006), «Five (or so) challenges for species distribution modelling», *Journal of Biogeography*, 33, pp. 1677-1688.
- AUSTIN, M. (2007), «Species distribution models and ecological theory: A critical assessment and some possible new approaches», *Ecological Modelling*, 200, pp. 1-19.
- BUCKLAND, S.T. y ELSTON, D.A. (1993), «Empirical models for the spatial distribution of Wildlife», *Journal of Applied Ecology*, 30, pp. 478-495.
- CARROLL, C.; ZIELINSKI, W.J. y NOSS, R.F. (1999), «Using presence-absence data to build and test spatial habitat models for fisher in the Klamath region, USA», *Conservation Biology*, 13, pp. 1344-1359.
- DETTMERS, R. y BART, J. (1999), «A GIS modelling method applied to forest songbird habitat», *Ecological Applications*, 9, pp. 152-163.
- GREÑO, J.L.; BELDA, E. y BARBA, E. (2008), «Influence of temperatures during the nestling period on post-fledging survival of great tit *Parus major* in a Mediterranean habitat», *Journal of avian biology*, 18, pp. 443-459.
- GUISAN, A. y ZIMMERMANN, N.E. (2000), «Predictive habitat distribution models in ecology», *Ecological Modelling*, 135, pp. 147-186.
- GUTZWILLER, K.J. y BARROW, W.C. (2001), «Bird – landscape relations in the Chihuahuan desert: coping with uncertainties about predictive models», *Ecological Applications*, 11, pp. 1517-1532.
- HIRZEL, A.H.; HAUSSEER, J.; CHESSEL, D. y PERRIN, N. (2002), «Ecological-niche factor analysis: How to compute habitat-suitability maps without absence data?», *Ecology*, 83, pp. 2027-2036.
- LATORRE, F.J.; PELAYO, E.; HERNÁNDEZ, F.; CABRERA, M. y GUIRAL, P. (eds.) (1998), *Atlas de las especies nidificantes de Aragón*, Zaragoza, Diputación general de Aragón.

- LOYN, R.H.; MCNABB, E.G.; VOLODINA, L. y WILLIG, R. (2001), «Modelling landscape distributions of large forest owls as applied to managing forests in north-east Victoria, Australia», *Biological Conservation*, 97, pp. 361-376.
- MÁRCIA BARBOSA, A.; REAL, R.; OLIVERO, J. y VARGAS, J.M. (2003), «Otter (*Lutra lutra*) distribution modeling at two resolution scales suited to conservation planning in the Iberian Peninsula», *Biological Conservation*, 114, pp. 377-387.
- MARTÍ, R. y DEL MORAL, J.C. (eds.) (2003), *Atlas de las aves reproductoras de España*, Madrid, Ministerio de Medio Ambiente. SEO/BirdLife.
- MARTÍNEZ, J.A.; ZUBEROGOITIA, I.; MARTÍNEZ, J.; ZABALA, J. y CALVO, J.F. (2007), «Patterns of territory settlement by Eurasian scops-owls (*Otus scops*) in altered semi-arid landscapes», *Journal of Arid Environments*, 69, pp. 400-409.
- MIKKOLA, H. (1995), *Rapaces nocturnas de Europa*, Editorial Perflis.
- NOGUÉS-BRAVO, D. y AGUIRRE, A. (2006), «Patrón y modelo de distribución espacial de la alondra ricotí (*Chersophilus duponti*) durante el periodo reproductor en el LIC de Ablitas (Navarra)», *Ardeola*, 53, pp. 55-68.
- OSBORNE, P.E.; ALONSO, J.C. y BRYANT, R.G. (2001), «Modelling landscape-scale habitat use using GIS and remote sensing: a case study with great bustards», *Journal of Applied Ecology*, 38, pp. 458-471.
- PEARCE, J. y FERRIER, S. (2000), «Evaluating the predictive performance of habitat models developed using logistic regression», *Ecological Modelling*, 133, pp. 225-245.
- PENG, C.J.; LEE, K.L. e INGERSOLL, G.M. (2002), «An introduction to logistic regression analysis and reporting», *The Journal of Educational Research*, 96, pp. 3-14.
- PIORECKY, M.D. y PRESCOTT, D.R.C. (2006), «Multiple spatial scale logistic and autologistic habitat selection models for northern pygmy owls, along the eastern slopes of Alberta's Rocky Mountains», *Biological Conservation*, 129, pp. 360-371.
- STORE, R. y JOKIMAKI, J. (2003), «A GIS-based multi-scale approach to habitat suitability modeling», *Ecological Modelling*, 169, pp. 1-15.
- SUNDE, P. y REDPATH, S.M. (2006), «Combining information from range use and habitat selection: sex-specific spatial responses to habitat fragmentation in tawny owls *Strix aluco*», *Ecography*, 29, pp. 152-158.
- SUTHERLAND, W.; NEWTON, I. y GREEN, R.E. (2004), *Birds Ecology and conservation*, Oxford University Press.
- SYARTINILIA y TSUYUKI, S. (2008), «GIS-based modeling of Javan Hawk-Eagle distribution using logistic and autologistic regression models», *Biological Conservation*, 141, pp. 756-769.
- TERMANSEN, M.; MCCLEAN, C.J. y PRESTON, D.C. (2006), «The use of genetic algorithms and Bayesian classification to model species distributions», *Ecological modelling*, 192, pp. 410-424.
- ZANIEWSKI, A.E.; LEHMAN, A. y OVERTON, M.C. (2002), «Predicting species spatial distributions using presence-only data: a case study of native New Zealand ferns», *Ecological Modelling*, 157, pp. 261-280.
- ZWEIG, M.H. y CAMPBELL, G. (1993), «Receiver-operating characteristic (ROC) plots: a fundamental evaluation tool in clinical medicine», *Clinical Chemistry*, 39, pp. 561-577.

Recibido el 2 de junio de 2009
Aceptado el 29 de julio de 2010

La revista **TERUEL** acoge trabajos de carácter científico referentes a cualquiera de las ramas de las Ciencias o de las Humanidades que tengan como ámbito preferente la provincia de Teruel. Los trabajos, antes de su publicación, tendrán que ser aceptados por el Consejo de Redacción de la revista.

Los manuscritos enviados a la revista deberán ser originales e inéditos, lo que se hará constar expresamente por el autor o autores en una carta adjunta al editor. También se indicará si alguna parte del mismo se ha incluido en otra publicación.

TEXTO. Deberá redactarse correctamente y de forma definitiva antes de su presentación. Los artículos serán enviados en papel, por triplicado en A4 escrito a doble espacio y una sola cara en letra *Times New Roman* tamaño 12, y en formato digital. Su extensión no superará los 66.000 caracteres. El editor, en su caso, podrá pedir una reducción del texto o, excepcionalmente, admitir otros más extensos. No se devolverán los originales y las copias de los artículos que sean rechazados.

RESUMEN. Todos los originales deberán ir acompañados de un resumen, encabezado por el título, en el que se incluyan los objetivos, métodos y posibles conclusiones que se deduzcan del trabajo, con una extensión aproximada de 125 palabras. Junto con el resumen se relacionarán entre 3 y 10 palabras clave que den una idea rápida del contenido del artículo. Todo ello se enviará en castellano y en inglés.

DATOS DEL AUTOR. El manuscrito irá acompañado de una hoja con los datos personales y profesionales del autor o autores: filiación institucional y profesional, dirección particular y del centro de trabajo, e-mail y cualquier otra información de contacto.

FIGURAS, LÁMINAS Y GRÁFICOS. Las figuras (*grabados y dibujos a línea*) irán numeradas correlativamente, con números árabes. Podrán incluirse intercaladas en el texto, indicando el lugar exacto donde deben colocarse, o bien al final del trabajo. Es imprescindible que se incluya la escala gráfica correspondiente.

Las láminas de fotografías o diapositivas se entregarán definitivamente montadas, numeradas correlativamente con números romanos, y con letras minúsculas las fotografías dentro de cada lámina.

Los pies y leyendas de ambas se presentarán en hoja aparte, haciendo referencia a la ilustración correspondiente.

Los cuadros y gráficos irán numerados correlativamente y se hará mención a las fuentes de origen.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. Notas a pie de página. En principio se reservan exclusivamente para comentarios al texto, siempre que no se puedan incluir en este, o para las citas de apoyo documental, evitando al máximo su número. Corresponde al autor asegurarse en su manuscrito final de que no agregará ni suprimirá notas una vez haya comenzado el proceso de edición.

En el caso de que las notas se utilicen para introducir bibliografía consultada, ésta se dispondrá del siguiente modo cuando se cite por primera vez: inicial o iniciales del nombre del autor seguido de los apellidos en versalita, título de la obra (en cursiva), lugar de edición, editor, año de edición y las páginas, en su caso, donde aparece lo que se está comentando precedidas de p. o pp., según sea una o varias; si se trata de un artículo, el título irá en recta entre comillas latinas (« »), le seguirá el nombre de la revista en cursiva, el número de la misma, el año de edición y las páginas que se quieran señalar precedidas de p. o pp.; en caso de obras colectivas o congresos, el título de los trabajos irá en recta entre comillas latinas seguido de la obra o congreso (en cursiva), lugar, editor, año de edición y páginas. Todo ello separado por comas.

Ejemplos:

G. DURAND, *Las estructuras antropológicas de lo imaginario*, Madrid, Taurus ediciones, 1982, p. 169.

J.M. ENGUIA UTRILLA, «Rasgos dialectales en las hablas de Teruel», *Teruel*, 74, 1985, pp. 179-219.

P. PÉREZ VIÑUALES, «Vacío demográfico mudéjar en Alagón durante el siglo XV», *Actas del III Simposio Internacional de Mudejarismo*, Teruel, Instituto de Estudios Turolenses, 1986, pp. 253-259.

Cuando en una nota vuelva a haber referencias a una obra ya citada y no haya otras del mismo autor, se pondrán la inicial o iniciales seguidas del apellido en versalitas, *op. cit.* (en cursiva) y las páginas si corresponde. Si hay más de una obra de un mismo autor se repetirán las tres o cuatro primeras palabras de la obra (en cursiva o entre comillas según sea el caso) seguidas de puntos suspensivos y la página o páginas correspondientes (p. o pp.).

Si una nota se refiere exactamente a lo mismo de la nota anterior, se pondrá *Ibidem* (en cursiva).

B. En el texto. Se harán indicando el apellido del autor o autores en versalita, año de publicación y, en su caso, la letra que figura en la Bibliografía y las páginas tras dos puntos, si se considera oportuno incluirlas.

Ejemplos:

Referencia a un autor sin comentarios en el interior del texto (FORCADELL, 1977: 170), o bien (RUIZ CARNICER *et al.*, 1986).

Cuando el autor citado forme parte de la sentencia, la referencia se hará del siguiente modo: "Como ha indicado FORCADELL (1977), las causas...".

En un apartado al final de la obra deberán incorporarse todas las referencias bibliográficas completas contenidas en el texto, ordenadas alfabéticamente (y si hay varias citas de un mismo autor la colocación dependerá del año de edición) y siguiendo este esquema: apellidos del autor en versalita, inicial o iniciales del nombre del mismo, año de edición entre paréntesis (distinguiendo a, b, c, en caso de que el mismo autor tenga más de una obra citada en un año determinado), título de la obra (en cursiva), lugar de edición y editor; si se trata de un artículo, el título irá en recta entre comillas latinas (« »), le seguirá el nombre de la revista en cursiva, el número de la misma y las páginas precedidas de pp.; en caso de obras colectivas o congresos, el título de los trabajos irá en recta entre comillas latinas seguido de la obra o congreso (en cursiva), lugar, editor y páginas. Todo ello separado por comas excepto el nombre del autor y la fecha de la obra citada.

En el caso de que un autor encabece varias obras junto con otros autores, el orden será cronológico.

Las obras que un autor ha publicado como editor, compilador o director se colocan detrás de aquellas en que ha sido único autor, indicando antes de la fecha de edición también entre paréntesis la abreviatura correspondiente (ed., comp., dir.).

Ejemplos:

GARCÍA MÁRQUEZ, M. (1983), *Geografía urbana de Teruel*, Teruel, Instituto de Estudios Turo-lenses.

MATEOS, J.A. (2003a), «Propios, arbitrios y comunales: la hacienda municipal en el reino de Aragón durante los siglos XVI y XVII», *Revista de Historia Económica*, XXI, 1, pp. 51-77.

MATEOS, J.A. (2003b), «Municipio y mercado en el Aragón moderno: el abasto de carne en Zaragoza (siglos XVI y XVII)», *Espacio, Tiempo y Forma*, IV, 16, pp. 183-216.

FORCADELL, C. (1977), «El movimiento obrero», *Los Aragoneses*, Madrid, Ediciones Istmo, pp. 161-186.

En cualquier caso, sólo podrá utilizarse un sistema u otro para las referencias bibliográficas, nunca podrán mezclarse ambos.

C. Citas de direcciones electrónicas. A continuación de la referencia bibliográfica orde-nada como se indica en los puntos anteriores, se añadirá tras el punto la URL y entre paréntesis la fecha de consulta.

RESEÑA DE LIBROS. La revista Teruel incluirá reseñas de libros cuya temática esté relacionada con el ámbito de la revista. Quienes deseen escribir una reseña de un libro deberán contactar pre-viamente con el editor. Las reseñas de libros irán precedidas de un encabezamiento con los siguien-tes datos: nombre y apellidos del autor o autores, título del libro (en cursiva), lugar de publicación, editorial, año de publicación y número de páginas. Al final de la reseña se hará constar el nombre y apellidos del autor de la misma. Las reseñas no superarán los cinco folios (11.000 caracteres).

PRUEBAS. Las primeras pruebas serán enviadas a los autores para su corrección, los cuales marcarán los posibles errores de imprenta y las devolverán en el plazo de dos semanas a partir de la fecha de su recepción. El retraso en la devolución de las pruebas implicará la publicación del trabajo en el volumen siguiente. Las segundas y definitivas serán corregidas por el Instituto de Estudios Turo-lenses.

AUTORES. Los autores tendrán derecho a recibir 3 números de la revista que incluya su artícu-lo y una copia en PDF de su trabajo si así lo solicitan.

Teruel, febrero de 2012



